PROJET DE GUIDE DE RÉGLEMENTATION

C-006 (RÉV. 1) (F)

ANALYSE DE SÛRETÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES CANDU

Publié pour commentaires par la
Commission de contrôle de l'énergie atomique
Septembre 1999

Commission de contrôle de l'énergie atomique
Atomic Energy Control Board

Canada

PROJET DE GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Analyse de sûreté des centrales nucléaires CANDU
C-006 (Rév. 1)(F)

Publié pour commentaires par la
Commission de contrôle de l'énergie atomique
Septembre 1999

Documents d'application de la réglementation de la CCEA

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) fonctionne à l'intérieur d'un cadre juridique constitué de la législation et, à l'appui, de documents d'application de la réglementation. Le terme « législation » renvoie à différents instruments légaux exécutoires : des lois, des règlements, des permis et des directives. Quant aux documents d'application de la réglementation – des politiques, des normes, des guides, des avis, des procédures et des documents d'information –, ils soutiennent et expliquent davantage ces instruments. Les activités de réglementation de la CCEA reposent sur ces instruments et ces documents.

Voici les principales classes de documents d'application de la réglementation de la CCEA :

Politique d'application de la réglementation : document qui décrit la doctrine, les principes et les facteurs fondamentaux utilisés par la CCEA dans son programme d'application de la réglementation

Norme d'application de la réglementation : document qui peut servir à une évaluation de conformité et qui décrit les règles, les caractéristiques ou les pratiques que la CCEA accepte comme conformes aux exigences réglementaires.

Guide d'application de la réglementation : document qui sert de guide ou qui décrit des caractéristiques ou des pratiques recommandées par la CCEA et qui, d'après elle, permettent de respecter les exigences réglementaires ou d'améliorer l'efficacité administrative.

Avis d'application de la réglementation : document qui contient des conseils et des renseignements propres à un cas donné et qui sert à alerter les titulaires de permis et d'autres personnes à propos d'importantes questions de santé, de sûreté ou de conformité auxquelles il faut donner suite en temps utile.

Procédure d'application de la réglementation : document qui décrit les modalités de travail qu'utilise la CCEA pour administrer les exigences réglementaires dont elle est responsable.

Les politiques, normes, guides, avis et procédures d'application de la réglementation ne créent pas d'exigences exécutoires, mais étayent les exigences réglementaires des règlements, des permis et des autres instruments exécutoires. Cela dit, quand il y a lieu, un DAR peut être transformé en instrument exécutoire par incorporation dans un règlement de la CCEA, un de ses permis ou un autre instrument exécutoire créé en vertu de la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*.

PROJET DE GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Analyse de sûreté des centrales nucléaires CANDU

C-006 (Rév. 1)(F)

Septembre 1999

AVIS

Le 20 mars 1997, le projet de loi C-23, *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (Loi sur la SRN,* la *Loi)*, a reçu la sanction royale. De nouveaux règlements découlant de cette loi remplaceront les règlements existants. Le guide de réglementation C-006(Rév. 1) fait référence à la *Loi sur la SRN* et à ses nouveaux règlements, qui entreront en vigueur à une date fixée par décret du gouverneur en conseil.

Préface

Le document de consultation C-006 (Rév. 1) remplace le document de consultation C-6, qui a été publié pour commentaires en juin 1980. En juin 1983, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) l'a appliqué à titre d'essai lors de l'octroi de permis à la centrale nucléaire de Darlington. Il regroupe les leçons tirées de l'application à titre d'essai ainsi que des commentaires reçus depuis lors.

Le document de consultation C-006 (Rév. 1) est publié de nouveau en vue d'une seconde consultation publique avant d'être désigné comme guide de réglementation de la CCEA. Son contenu reflète la philosophie de la nouvelle *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (Loi sur la SRN)* et de ses règlements proposés, qui devraient entrer en vigueur en l'an 2000. Les commentaires écrits sont les bienvenus et doivent être envoyés à l'adresse ci-après avant le 15 décembre 1999. Le numéro du dossier de référence 1–8–8–6 doit être indiqué.

À moins d'avis contraire, un exemplaire de tous les commentaires reçus sera placé à la bibliothèque de la CCEA, à Ottawa.

Consultation du document

On peut consulter le document dans le site internet de la CCEA à l'adresse suivante : **www.aecb-cnea.gc.ca.** Il est également possible de commander des exemplaires en français ou en anglais du document C-006 (Rév. 1) en communiquant avec la personne suivante :

Adjointe aux opérations
Section des documents de la Commission
Commission de contrôle de l'énergie atomique
C.P. 1046, Succursale B
Ottawa (Ontario) KIP 5S9
Téléphone : (613) 996-9505
Télécopieur : (613) 995-5086
Courriel : reg@atomcon.gc.ca

101-02854/

Table des matières

Au sujet du guide vi

But vi
Portée vi

À qui ce guide s'adresse-t-il? vii

Organisation du guide vii

Démarche suivie dans ce guide viii

Documents connexes viii

1. Orientation générale et procédures 1

1.1 Compte rendu à soumettre 1
1.1.1 Orientation générale 1
1.1.2 Logiciels et données 1
1.1.3 Vérification 1
1.1.4 Programme d'assurance de la qualité 1
1.1.5 Non-conformité 1
1.2 Mise à jour des analyses de sûreté 2
1.2.1 Revue de la sûreté 2
1.2.2 Révision et intégration 2
1.3 Assurance de la qualité 2
1.3.1 Programme d'assurance de la qualité 2
1.3.2 Facteurs organisationnels 3
1.3.3 Procédures d'analyse de sûreté 3
1.3.4 Intégration de l'analyse de sûreté 4
1.3.5 Procédures d'assurance de la qualité 4
1.3.6 Procédures de vérification 5
1.3.7 Procédures de compte rendu à soumettre 5
1.4 Problèmes non résolus des analyses de sûreté 5
1.4.1 Identification des problématiques et présentation des programmes 5
1.5 Aperçu du processus de l'analyse de sûreté 5

2. Revue systématique de la centrale nucléaire 9

2.1 Relevé de la documentation 9
2.1.1 Introduction et exemples 9
2.2 Revue de la documentation 10
2.2.1 Introduction 10
2.2.2 Paramètres de l'état de centrale 10

2.2.3 États de centrale au-delà des limites admissibles 12
2.2.4 Systèmes reliés à la sûreté 13
2.2.5 Modes de défaillance 15
2.2.6 Événements de cause commune 18
2.2.7 Combinaisons d'événements 19
2.2.8 Séquences d'événements 20
2.2.9 Conditions météorologiques 20
2.2.10 Dépendances 20
2.2.11 Séquences de défaillances 22
3. Traitement des événements de cause commune 24

3.1 Méthode recommandée 24
3.1.1 Évaluation des risques 24
3.1.2 Systèmes d'atténuation 24
3.1.3 Composants qualifiés 25
3.1.4 Procédures d'exploitation 25
3.1.5 Rejets et calcul de doses 25
3.2 Méthode de rechange 25
4. Traitement des séquences de défaillances 26

4.1 Classification des événements 26
4.1.1 Événements déclencheurs 26
4.1.2 Combinaisons d'événements 30
4.1.3 Combinaisons d'événement accompagnées d'événements de cause commune 31
4.1.4 Séquences d'événements 31
4.1.5 Systèmes d'arrêt d'urgence 34
4.1.6 Indépendance du SRUC 34
4.1.7 Défaillance simple des systèmes spéciaux de sûreté 34
4.1.8 Erreur unique de l'opérateur 35
4.1.9 Pire état de centrale 35
4.1.10 Séquences de défaillances comportant une défaillance partielle 36
4.1.11 Subdivision des modes de défaillance 36
4.1.12 Défaillance la plus défavorable d'une tuyauterie ou d'un collecteur 36
4.1.13 Défaillance d'un vaisseau sous pression 36
4.1.14 Conditions météorologiques 37
4.1.15 Dépendances 37
4.1.16 Dépendances entre des événements 37
4.1.17 Probabilité minimale pour considérer un événement 38
4.1.18 Protection contre les surpressions 38
4.1.19 Acceptation de la classification 38

4.2 Analyse des séquences de défaillances 38
4.2.1 Documentation 38
4.2.2 Groupes de séquences de défaillances 39
4.2.3 Limites des séquences de défaillances 39
4.2.4 Systèmes reliés à la sûreté 39
4.2.5 Capacité et qualification des systèmes d'atténuation 39
4.2.6 Capacité des composants qui ne sont pas qualifiés 40
4.2.7 Normes de rendement minimal admissible 40
4.2.8 Couverture des paramètres de déclenchement 40
4.2.9 Intervention de l'opérateur 40
4.2.10 Durée de l'analyse 42
4.2.11 Physique des réacteurs 42
4.2.12 Transfert de chaleur 43
4.2.13 Intégrité du combustible, des composants sous pression et des structures 43
4.2.14 Rejet de matières radioactives 44
4.2.15 Doses propres à la durée du rejet 44
4.2.16 Critères d'acceptation dérivés 45
4.2.17 Exigences réglementaires connexes 46
4.2.18 Validité de l'analyse 47
4.2.19 Marges de sûreté 47
4.2.20 Modèles mathématiques et méthodes de calcul 48
4.2.21 Hypothèses conservatrices 48
4.2.22 Vérification 51
4.2.23 Validation 52
4.2.24 Essais de mise en service 52
4.2.25 Données 52
4.2.26 Résultats intermédiaires 52
4.2.27 Critères d'acceptation 52
5. Étude probabiliste de sûreté 64

5.1 Portée 64
5.2 Utilisation de l'ÉPS dans l'analyse 64
Glossaire 67

Annexe A : Technique probabiliste de classification des événements A.1

Annexe B : Événements limitatifs B.1

Au sujet du guide

But

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) fournit une orientation, de l'aide et de l'information dans les *Documents de réglementation* (DAR) tel que précisé dans la couverture avant intérieure. Ces documents visent à orienter toute personne assujettie aux exigences réglementaires, comme les titulaires de permis de la CCEA et d'autres personnes engagées dans le processus de réglementation de la CCEA.

Le *Guide pour effectuer les analyses de sûreté relatives à l'exploitation d'une centrale nucléaire CANDU* fournit des lignes directrices concernant l'élaboration des analyses de sûreté pour les centrales nucléaires CANDU. Il vise à aider le demandeur de permis à répondre aux attentes de la CCEA concernant les analyses de sûreté qu'il doit présenter à la CCEA conformément aux règlements d'application de la *Loi sur la SRN*.

Les lignes directrices qui figurent dans le guide ne sont pas d'application obligatoire. Les analyses de sûreté sont sous la responsabilité des titulaires et des détenteurs de permis. Ceux-ci ont une certaine latitude lorsqu'ils ont à décider si une approche différente permettrait d'atteindre une marge de sûreté équivalente ou meilleure. Dans tous les cas, toute démarche de rechange proposée par un titulaire de permis ne sera acceptée que si elle est défendable et que, selon la CCEA, elle respecte l'esprit du règlement. La conformité aux lignes directrices accélérera le processus d'évaluation du permis.

Portée

Le guide s'applique aux analyses de sûreté qui sont requises pour une nouvelle centrale nucléaire CANDU en vertu du paragraphe 6*c*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I*. Les analyses de sûreté et les activités d'assurance de la qualité effectuées en vertu de l'alinéa 3(1)*i*) du *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires* et des paragraphes 4*d*) ou 5*f*) du *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I* ne sont pas traitées dans le présent document; cependant, les pratiques qui y sont décrites peuvent être utiles.

Les exigences relatives aux analyses de sûreté pour les centrales existantes ne sont pas traitées dans le présent document; cependant, les pratiques qui y sont décrites peuvent être utiles pour leur mise à jour.

Le guide couvre toutes les pratiques et tous les critères d'acceptation essentiels pour l'analyse de sûreté présentée dans le cadre d'une demande de permis pour une centrale nucléaire CANDU. Il ne s'agit pas d'une analyse de sûreté normalisée détaillée ni d'un modèle pour produire un rapport final d'analyse de sûreté, même si de tels normes et modèles devraient être élaborés par les analystes de la sûreté des centrales nucléaires dans le cadre de l'analyse de sûreté.

À qui ce guide s'adresse-t-il?

Le guide s'adresse aux :

- titulaires et demandeurs de permis qui exploitent ou conçoivent des installations nucléaires de catégorie I (centrales nucléaires CANDU) – pour les aider dans la préparation des rapports finaux d'analyse de sûreté à l'appui d'une demande de permis.
- aux employés de la CCEA – pour les aider à évaluer dans quelle mesure le demandeur a pris en compte la sûreté dans la conception de l'installation.

Organisation du guide

Le guide est organisé de la manière suivante :

- La partie 1, « Orientation générale et procédures », comporte des lignes directrices qui s'appliquent à toutes les analyses de sûreté.
- La partie 2, « Revue systématique de la centrale nucléaire », comporte des lignes directrices pour l'examen de la centrale nucléaire.
- La partie 3, « Traitement des événements de cause commune », comporte des lignes directrices pour l'évaluation des risques associés à la centrale suite à des événements de cause commune.
- La partie 4, « Traitement des séquences de défaillances », comporte des lignes directrices pour la classification des événements et l'analyse des séquences de défaillances (c.-à-d. les événements autres que les événements de cause commune).
- La partie 5, « Étude probabiliste de sûreté », comporte de l'information générale sur l'utilisation des analyses probabilistes dans les analyses de sûreté.
- « Glossaire », comprend des définitions de termes clés employés dans ce guide.
- L'annexe A, « Technique probabiliste de classification des événements », comporte des lignes directrices sur une technique de rechange pour la classification des événements.
- L'annexe B, « Événements limitatifs », comprend une méthode permettant d'établir les événements limitatifs pour les paramètres de centrale et les procédures d'exploitation.

Démarche suivie dans ce guide

Le guide décrit une analyse déterministe de combinaisons d'événements individuels; en fait, elles n'expliquent pas comment déterminer la probabilité qu'un événement survienne. (Une exception notable est l'étude probabiliste de sûreté, qui décrit le calcul des probabilités.)

En suivant la démarche décrite dans ce guide, l'analyste devrait être en mesure dévaluer la pertinence des procédures d'exploitation de la centrale et de déterminer les paramètres limitatifs de la centrale, notamment :

- les paramètres de conception des systèmes d'atténuation;
- les paramètres d'exploitation de la centrale.

Les lignes directrices ont pour but d'aider l'analyste dans la formulation des critères d'acceptation intermédiaires fondés sur l'état actuel des connaissances. Elles suivent l'hypothèse que la centrale en question est présumée ne pas être sûre jusqu'à ce qu'il soit prouvé qu'elle est sûre à un niveau élevé de confiance, le fardeau de la preuve reposant sur l'analyste. Grâce à un tel exercice, l'analyste déterminera si les caractéristiques fonctionnelles de la conception de la centrale et des procédures d'exploitation assurent une protection suffisante en matière de sûreté, et si des garanties additionnelles et des mesures d'atténuation sont nécessaires.

Documents connexes

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les analyses de sûreté non traitées dans ce guide, se référer aux documents suivants :

- *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires (Loi sur la SRN)*
- *Règlement général sur la sûreté et la réglementation nucléaires*
- *Règlement sur les installations nucléaires de catégorie I*
- CCEA, *Les normes des systèmes de confinement des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-7.
- CCEA, *Les normes des systèmes d'arrêt d'urgence des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-8.
- CCEA, *Les normes des systèmes de refroidissement d'urgence du coeur des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-9.
- CCEA, *Exigences pour la protection contre la surpression dans le circuit caloporteur primaire des réacteurs de puissance CANDU munis de deux systèmes d'arrêt d'urgence*, document de réglementation R-77.
- CIPR 68, Commission internationale de protection radiologique, *Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers*, 1994.
- CIPR 72, *Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 5 - Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients*, 1996.
- Bureau de la radioprotection de Santé Canada, *Recommendations on Dose Coefficients*

for Assessing Doses from Accidental Radionuclides Releases to the Environment, 1998.

- CAN/CSA–N288.2–M91. *Guidelines for Calculating Radiation Doses to the Public from a Release of Airborne Radioactive Material under Hypothetical Accident Conditions in Nuclear Reactors.*
- CAN/CSA–N288.1–M87. *Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Material in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operation of Nuclear Facilities.*
- D.G. Hurst et F.C. Boyd. *Reactor Licensing and Safety Requirements*, CCEA–1059, juin 1972.
- CCEA, *Guide de réglementation - Guide sur les programmes informatiques utilisés lors de la conception et des analyses de sûreté des centrales nucléaires et des réacteurs de recherche*, Guide de réglementation G-149.

1. Orientation générale et procédures

La présente partie comporte des lignes directrices qui s'appliquent à toutes les analyses de sûreté.

1.1 Compte rendu à soumettre

1.1.1 Orientation générale

Soumettre à la CCEA suffisamment[1] de renseignements vérifiables pour démontrer dans quelle mesure les lignes directrices contenues dans ce guide ont été suivies afin de respecter les exigences de la *Loi sur la SRN,* les règlements et les conditions du permis et pour faciliter une évaluation exhaustive et indépendante de l'analyse de sûreté. Fournir une liste des documents de référence sur lesquels sont fondés les renseignements présentés. Établir la mise en forme, le contenu et l'échéancier[2] des soumissions qui soient acceptables pour la CCEA.Logiciels et données

1.1.2 Logiciels et données

Documenter[3] tous les logiciels et les données s'y rapportant conformément aux codes et normes techniques acceptés par la CCEA.

1.1.3 Vérification

Fournir à la CCEA la preuve, sous la forme d'un rapport écrit, que l'analyse de sûreté a été vérifiée conformément aux procédures approuvées par le titulaire ou le demandeur de permis, que des mesures correctrices ont été prises pour toutes les lacunes relevées et que le vérificateur est d'accord avec les mesures correctrices prises. Justifier l'étendue de la vérification effectuée.

1.1.4 Programme d'assurance de la qualité

Soumettre à la CCEA, à une fréquence convenue, la preuve, sous la forme d'un rapport écrit, que le programme d'assurance de la qualité fait l'objet d'une vérification et qu'il est examiné conformément aux procédures approuvées par le titulaire ou le demandeur de permis. Une telle preuve doit démontrer que le programme d'assurance de la qualité a été établi et mis en oeuvre efficacement et que des mesures correctrices ont été prises pour toutes les lacunes relevées.

1.1.5 Non-conformité

Tout cas de non-conformité doit être signalé à la CCEA et justifié[4].

1.2 Mise à jour des analyses de sûreté

1.2.1 Revue de la sûreté

Relever périodiquement les lacunes dans les analyses de sûreté. Soumettre la liste des lacunes selon un échéancier convenu. Si aucune lacune n'est trouvée, présenter tout de même un rapport en faisant état. Pour identifier les lacunes, un examen vérifiable doit être fait pour les éléments suivants :

- nouvelles normes de sûreté, méthodes d'analyse et résultats de la recherche scientifique et technique
- modifications aux données, à la conception, aux paramètres d'exploitation et aux procédures d'exploitation de la centrale nucléaire
- expérience accumulée par la mise en service et l'exploitation des centrales nucléaires à l'échelle internationale.

1.2.2 Révision et intégration

Réviser l'analyse de sûreté pour tenir compte de toute lacune relevée lors de la revue. Soumettre les résultats de la nouvelle analyse à la CCEA suivant un échéancier convenu. Intégrer les révisions au Rrapport de sûreté à l'intérieur de délais raisonnables, conformément aux conditions du permis[5].

1.3 Assurance de la qualité

1.3.1 Programme d'assurance de la qualité

(a) Établir un programme d'assurance de la qualité qui satisfait aux exigences réglementaires, aux codes, aux normes et critères d'acceptation applicables[6] à l'analyse de sûreté. L'appliquer à toutes les analyses de sûreté effectuées durant le cycle de vie de la centrale nucléaire. Soumettre pour approbation, le manuel du programme d'assurance qualité(AQ) à la CCEA avant de commencer toute[7] activité liée à l'analyse de sûreté. Les changements apportés au programme devront également être soumis pour approbation.

(b) Le programme d'AQ doit comprendre les éléments suivants :

- les facteurs organisationnels
- les procédures d'analyse de sûreté
- les procédures d'intégration de l'analyse de sûreté
- les procédures d'assurance de la qualité
- les procédures de vérification
- les procédures de compte rendu à soumettre.

1.3.2 Facteurs organisationnels

Documenter les facteurs organisationnels. Déterminer les compétences du personnel, la structure organisationnelle, les responsabilités et l'autorité en ce qui concerne :la centrale nucléaire

- l'analyse de sûreté
- les interfaces entre l'analyse de sûreté, les résultats de la recherche, la conception, l'exploitation et les études de fiabilité
- la vérification
- l'audit et la revue.

1.3.3 Procédures d'analyse de sûreté

(a) Documenter les procédures d'analyse de sûreté pour les tâches suivantes :

- la revue de la centrale nucléaire
- la classification des événements
- la préparation et la sélection des méthodes d'analyse
- l'analyse des séquences de défaillances
- la validation de l'analyse de sûreté
- le traitement des événements de cause commune
- la réalisation d'une étude probabiliste de sûreté
- l'identification des problèmes de sûreté non résolues.

(b) Dans les procédures, traiter deux étapes de la vie de la centrale nucléaire, soit :

- l'analyse de sûreté du design et des procédures d'exploitation à chaque stade intérimaire de la phase de conception;
- la mise à jour des exigences réglementaires, des connaissances et de l'expérience ou des changements apportés à la conception et aux procédures d'exploitation pendant les phases de construction, de mise en service et d'exploitation.

(c) Établir le niveau de rigueur (p. ex., l'analyse, l'évaluation des événements qui sont plus limitatifs, l'expérience ou les données opérationnelles) à appliquer à l'analyse de sûreté.

1.3.4 Intégration de l'analyse de sûreté

Documenter les procédures d'intégration de l'analyse de sûreté, soit les procédures pour intégrer les activités liées à l'analyse de sûreté et pour assurer une bonne communication entre les concepteurs, les exploitants, les analystes de chacune des disciplines de sûreté, les chercheurs et les spécialistes en fiabilité.

1.3.5 Procédures d'assurance de la qualité

Documenter les procédures d'assurance de la qualité. Ces procédures incluent:

- l'établissement de l'étendue du programme d'assurance de la qualité s'appliquant à chacune des tâches de l'analyse de sûreté
- la planification et la formation
- la gestion de la configuration, le contrôle des modifications, la tenue des registres essentiels pour que l'analyse puisse être examinée minutieusement, répétée et facile à retrouver
- l'audit et la revue
- les mesures correctrices.

1.3.6 Procédures de vérification

Documenter les procédures de vérification afin d'établir l'étendue de la vérification indépendante de chacune des tâches de l'analyse de sûreté. Appliquer cette vérification aux analyses qui définissent les procédures d'exploitation et les exigences fonctionnelles des systèmes d'atténuation. Justifier l'étendue de la vérification indépendante réalisée.

1.3.7 Procédures de compte rendu à soumettre

Ces procédures comprennent une procédure relative à la présentation de tous les rapports clés reliés aux analyses de sûreté.

1.4 Problèmes non résolus des analyses de sûreté

1.4.1 Identification des problématiques et présentation des programmes

Relever clairement toutes les problématiques non résolues se rapportant à l'analyse de sûreté[8], et présenter à la CCEA un échéancier et un plan pour la mise sur pied d'un programme de recherche qui traite de ces questions. Présenter les rapports selon un échéancier convenu.

1.5 Aperçu du processus de l'analyse de sûreté

La figure 1.1 illustre le processus à suivre lors de la réalisation d'une analyse de sûreté. Au besoin, se référer à la partie appropriée du guide pour chaque processus.

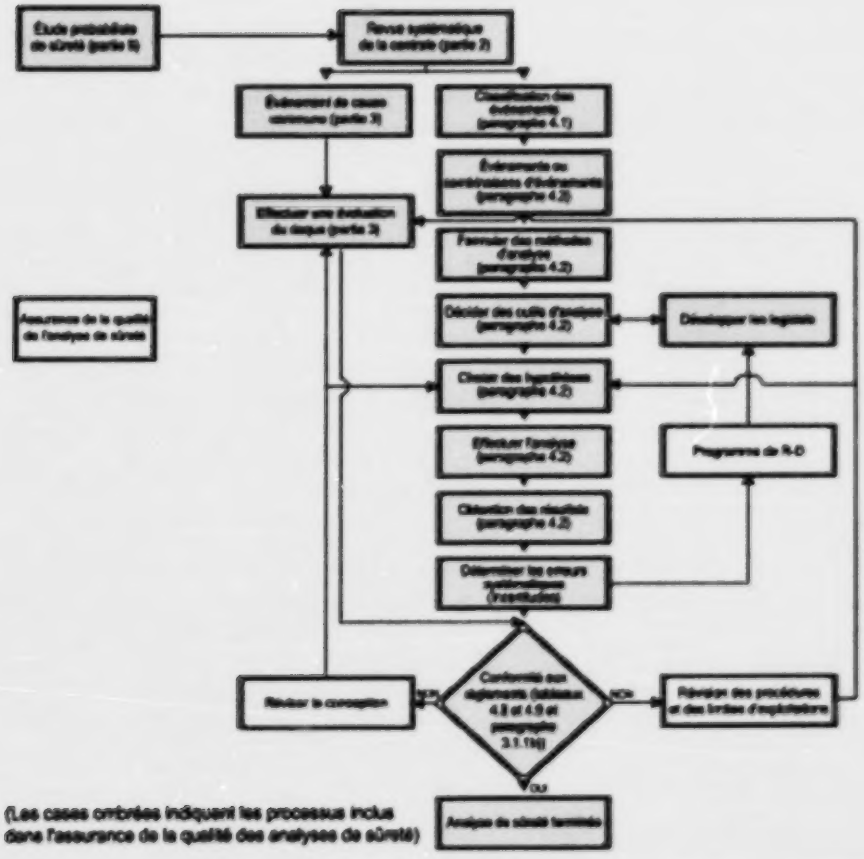

Figure 1.1: Processus de l'analyse de sûreté

Notes

1. Tout au long du guide, des lignes directrices sont fournies sous la forme d'items spécifiques à soumettre.

2. Prévoir un délai suffisant pour l'examen par la CCEA.

3. La documentation se rapportant aux logiciels et aux données devrait comprendre la documentation sur l'élaboration et l'application du logiciel précisée dans le document G-149, le plan d'assurance de la qualité, le plan de gestion de la configuration, le matériel de formation, la description des données et les rapports de vérification.

4. La justification d'un cas de non-conformité devrait comprendre une description des conséquences de l'événement en situation de conformité. Les cas de non-conformité qui ont été acceptés sont notés dans ce guide.

5. Le document R-99 établit la période de révision du Rapport de sûreté.

6. Les exigences, codes et normes peuvent être cités en référence et les procédures peuvent être incluses pour l'établissement des critères.

7. Cela a trait aux analyses en support au permis et implique que l'organisation responsable des analyses de sûreté dispose d'un programme d'assurance de la qualité des analyses.

8. On trouve au nombre de telles questions : les normes relatives à la considération des marges d'erreur dans l'analyse de sûreté, l'importance de l'assurance de la qualité et la vérification indépendante, les compétences des analystes, l'analyse des effets de mode commun ainsi que les techniques d'étude probabiliste de la sûreté des CANDU. D'autres exemples comprennent les cas où les mesures correctrices satisfassont pas au vérificateur et où la validation des hypothèses d'analyse de sûreté n'est pas complétée.

2. Revue systématique de la centrale nucléaire

La présente partie comprend des lignes directrices pour l'examen de la centrale nucléaire. Cette revue nécessite une étude détaillée de la documentation se rapportant à la centrale.

2.1 Relevé de la documentation

2.1.1 Introduction et exemples

(a) Identifier la documentation et les procédures d'exploitation disponibles[1] sur le site et la conception de la centrale. Déterminer également quelle est la documentation disponible sur la cause fondamentale des événements au Canada et dans d'autres pays[2] qui utilisent une technologie semblable. Relever les sujets pour lesquels la documentation est incomplète ou ne représente pas la configuration réelle.

(b) Les exemples de documentation à examiner peuvent comprendre notamment :

- les bases de données météorologiques
- les bases de données sismiques
- les données géologiques
- les bases de données hydrologiques
- les manuels de conception
- les schémas de principe
- les schémas électriques
- les plans
- les manuels d'exploitation
- les lignes de conduite pour l'exploitation et les principes/spécifications techniques
- le programme d'entretien
- les programmes d'étalonnage de l'équipement
- les surveillances courantes (vérifications des panneaux, vérifications courantes de l'opérateur, procédures d'essais réguliers, inspections)
- les fiches de rappel.

(c) La revue peut également utiliser la documentation employée pour la classification des composants reliés à la sûreté pour application à des sujets tels que l'assurance de la qualité, la sismicité, les incendies, les composants sous pression, ou la fiabilité.

2.2 Revue de la documentation

2.2.1 Introduction

Effectuer une revue[3] systématique et vérifiable du site et des procédures d'exploitation de la centrale ainsi que des expériences documentées d'autres pays. Déterminer les points suivants :

- les paramètres de l'état de centrale
- les états de centrale au-delà des limites admissibles
- les systèmes reliés à la sûreté, leurs capacités fonctionnelles et leurs modes de défaillance
- les événements de cause commune qui sont des événements graves
- les séquences d'événements qui sont de événements graves
- les scénarios météorologiques
- les dépendances
- les séquences de défaillances.

2.2.2 Paramètres de l'état de centrale

Déterminer tous les états pour lesquels les procédures d'exploitation autorisent l'exploitation continue de la centrale. Inclure, selon le cas, les paramètres de l'état de centrale figurant dans la liste du tableau 2.1. (Prendre note que la liste donnée dans ce tableau n'est pas exhaustive). Les paramètres de l'état de centrale peuvent être mesurés ou calculés. Inclure les états transitoires de la centrale et leurs dépendances temporelles pour la durée de vie de la centrale.

Pour chaque état de centrale applicable:

- Identifier les instruments employés pour observer l'état de la centrale, de même que leur marge d'erreur.
- Identifier les méthodes de calcul utilisées pour déterminer l'état de centrale et fournir un intervalle de confiance en ce qui a trait à leurs incertitudes.

Tableau 2.1 Paramètres particuliers de l'état de centrale

- inventaire des matières radioactives (produits de fission, tritium, produits d'activation, combustible) dans les caloporteurs des circuits primaire et secondaire, et dans le modérateur
- inventaire des espaces dans le combustible
- défauts dans la gaine du combustible
- fuites ou contournement des vannes, des joints étanches, des tubes du générateur de vapeur, des tubes de force et du confinement
- température et puissance initiale au centre des crayons de combustible
- formes de flux
- poison du modérateur
- combustion du coeur ("burn-up") : coeur neuf, équilibre préalable, équilibre
- pressions, températures, débits et niveaux
- tolérance des appareils
- constantes de temps et délais des instruments
- vieillissement des composants, cycles thermiques, fissuration, déformation, contraintes, usure et détérioration (y compris celle des tubes du générateur de vapeur et des tubes de force)
- position des vannes, clapets, portes, barrières, sas, revêtements, bouchons, grilles, commutateurs, disjoncteurs et relais
- mode d'exploitation
- états d'arrêt : circuit caloporteur primaire ouvert et fermé, drainé et plein, froid et chaud, arrêt garanti, et état critique
- sources froides d'arrêt : générateurs de vapeur, système d'évacuation de la chaleur résiduelle et modérateur
- démarrage
- niveau de puissance
- manoeuvre de puissance
- mode d'ajustement de la réactivité

suite...

Tableau 2.1 : Paramètres particuliers de l'état de centrale (suite)

- rechargement du combustible
- étalonnage
- essais
- entretien
- inspection
- nombre de composants opérationnels, comme les pompes et les vannes
- nombre de grappes de combustible et de bouchons-écrans dans un canal
- nombre de réacteurs à l'arrêt pour les centrales à plusieurs unités
- plages des espaces axiaux admissibles entre les éléments de combustible et le bouchon-écrandans un canal
- plage des états admissibles des composants reliés à la sûreté définis par leurs normes de rendement minimal admissible (y compris les points de consigne)
- l'étendue maximale admissible non détectable du blocage d'un canal à la suite du rechargement du combustible
- lorsque les procédures d'exploitation le permettent, les effets résultant de toutes les séquences de défaillances, qui subsistent après le retour de la centrale nucléaire à l'exploitation normale

2.2.3 États de centrale au-delà des limites admissibles

Identifier les états de centrale qui sont survenus ou pourraient se produire durant la vie de la centrale et pour lesquels des actions sont requises pour ramener la centrale à un état de centrale admissible. Cela comprend les états de centrale qui s'étendent au-delà des limites admissibles sur le plan de leur importance, de leur durée ou des deux à la fois. Inclure, selon le cas, les paramètres spécifiés au tableau 2.2 . (Prendre note que la liste donnée dans ce tableau n'est pas exhaustive).

Tableau 2.2 : Paramètres particuliers d'état de centrale au-delà des limites admissibles

- température excessivement basse ou élevée (p. ex. modérateur)
- pression excessivement basse ou élevée (p. ex. perte du confinement sous vide)
- niveau excessivement bas ou élevé
- débit excessivement bas ou élevé

suite...

Tableau 2.2 : Paramètres particuliers d'état de centrale au-delà des limites admissibles (suite)

- fuite excessive (p. ex. portes de sas ouvertes)distance axiale excessivement faible entre l'élement de combustible et le bouchon-écran dans un canal
- activité radiologique excessivement élevée (p. ex. pic de concentration d'iode)
- lecture des instruments excessivement basse ou élevée ou due à un mauvais étalonnage (p. ex. puissance thermique)
- système de protection contre les surpressions mal étalonné
- système de protection contre les flux neutroniques élevés mal étalonné
- système de protection contre un taux élevé d'augmentation du logarithme du flux neutronique mal étalonné
- système de protection contre les bas niveaux des générateurs de vapeur mal étalonné

2.2.4 Systèmes reliés à la sûreté

Inclure les systèmes reliés à la sûreté énumérés au tableau 2.3, selon le cas. À l'aide des procédures d'exploitation, identifier les actions de l'opérateur en situation normale et en situation d'urgence.

Tableau 2.3 : Systèmes reliés à la sûreté

- système d'arrêt d'urgence no 1
- système d'arrêt d'urgence no 2
- système de refroidissement d'urgence du coeur
- système de confinement
- soupape de sûreté à déclenchement d'urgence
- déclenchement automatique de pompe
- chauffage, ventilation et climatisation d'urgence
- alimentation électrique d'urgence de catégorie III
- alimentation électrique d'urgence
- air comprimé d'urgence
- eau du système d'extinction d'incendie
- circuit de refroidissement d'urgence du générateur de vapeur
- circuit d'eau de service de secours

suite...

Tableau 2.3 : Systèmes reliés à la sûreté (suite)

- systèmes d'atténuation de l'hydrogène
- système d'évacuation de la chaleur résiduelle
- circuit d'eau d'alimentation d'appoint
- circuit d'appoint du condensat
- système de contrôle de l'inventaire du caloporteur primaire
- circulation dans les garnitures de la pompe du caloporteur primaire du réacteur
- circuit du caloporteur primaire du réacteur
- système de purification du circuit caloporteur primaire
- système de régulation du réacteur
- baisse contrôlée de puissance du système de régulation du réacteur
- recul rapide de puissance du système de régulation du réacteur
- circuit du caloporteur secondaire du réacteur
- circuit de l'eau de service
- circuit du modérateur
- circuit du gaz de couverture du modérateur
- du système de poison du modérateur
- système de gestion de l'eau lourde
- circuit de refroidissement du bouclier du réacteur
- ordinateur de commande
- ordinateur de commande auxiliaire
- turbo-générateur
- protection contre l'emballement des turbines
- circuit de gaz annulaire
- air comprimé
- vanne d'isolation
- chauffage, ventilation et climatisation
- chargement du combustible
- refroidissement de la piscine de stockage
- purification de la piscine de stockage
- système de purification de l'air de la piscine de stockage

suite...

Tableau 2.3 : Systèmes reliés à la sûreté (suite)

- système de gestion des déchets radioactifs (gazeux, liquides et solides)
- alimentation électrique normale
- transfert automatique de catégorie IV
- moniteur des effluents gazeux
- produits de fission gazeux et emplacement du combustible défectueux
- circuit de récupération du caloporteur primaire du réacteur
- circuit de récupération du modérateur
- systèmes d'appui
- structures
- procédures d'exploitation des systèmes reliés à la sûreté

2.2.5 Modes de défaillance

Pour chaque mode de défaillance, déterminer la manière et le moment où les défaillances sont détectées et la nature de la capacité fonctionnelle perdue ou de la fonction indésirable accomplie. Inclure, en plus des modes de défaillances figurant au tableau 2.4, les cas où une procédure n'est pas effectuée lorsque cette dernière est requise et les cas où une procédure à un moment qui ne convient pas.

Tableau 2.4 : Modes de défaillance particuliers

On entend de façon générale par défaillance :

- défaillance avant l'événement déclencheur
- défaillance constituant l'événement déclencheur
- défaillance en cours de mission
- non-intervention de l'opérateur
- système laissé dans un état incorrect
- système mis en service dans des conditions inappropriées
- indisponibilité puisqu'en mode d'entretien
- en mode d'essais
- n'a pas été remis en service après l'entretien
- n'a pas été remis en service après un essai
- défaillance massive (rupture ou déformation)
- effets de mode commun

Pour les vannes, les clapets et les portes, on entend par défaillance :

- vanne, clapet ou porte bloqué en position ouverte ou fermée
- vanne, clapet ou porte laissé fermé ou ouvert par l'opérateur
- vanne, clapet ou porte fermé ou ouvert de manière intempestive avant l'événement déclencheur, à titre d'événement déclencheur ou pendant la mission
- manquement à rouvrir ou à refermer une vanne, un clapet ou une porte
- position d'une vanne, d'un clapet ou d'une porte donnant libre cours au passage d'un fluide (fuite interne ou externe)
- ouverture ou fermeture partielle d'une vanne, d'un clapet ou d'une porte
- vitesse d'ouverture ou de fermeture incorrecte d'une vanne, d'un clapet ou d'une porte.

suite...

Tableau 2.4 : Modes de défaillance particuliers (suite)

Pour les pompes, les ventilateurs, les turbines et les compresseurs, on entend par défaillance: • incapacité de démarrer • incapacité de fonctionner • incapacité d'arrêter • incapacité de redémarrer • démarrage intempestif avant l'événement déclencheur constituant l'événement déclencheur ou pendant la mission • blocage • défaillance de l'arbre • rupture
Pour les mécanismes de réactivité, on entend par défaillance : • absence de chute • chute intempestive • absence de retrait • chute lente • retrait involontaire • dilution involontaire du poison
Pour l'instrumentation, on entend par défaillances préalables à l'événement déclencheur, constituant l'événement déclencheur ou survenant pendant la mission : • incapacité d'obtenir un signal de sortie à zéro • incapacité d'obtenir un signal de sortie bas ou élevé • valeur de consigne ou dérive de sortie basse ou élevée • défaillance non détectée pendant le diagnostic • mauvais étalonnage • signal de sortie constant • signal de sortie bruit

suite...

Tableau 2.4 : Modes de défaillance particuliers (suite)

Pour les circuits électriques, on entend par défaillances préalables à l'événement déclencheur, constituant l'événement déclencheur ou survenant pendant la mission : • court-circuit ou circuit ouvert • commutateur laissé dans une position incorrecte • mauvais fonctionnement du programme informatique • défaillance du système numérique de contrôle par ordinateur
Pour les circuits de refroidissement, y compris le SRUC, on entend par défaillances préalables à l'événement déclencheur, constituant l'événement déclencheur ou survenant pendant la mission : • défaillance d'une tuyauterie et de tuyaux d'un système (fuites simples, multiples, internes ou externes) • perte de circulation (débit) • défaillance du préchauffage ou de la capacité d'évacuation de la chaleur (source froide)
Pour le système de confinement, on entend par défaillance : • dégonflements des joints d'étanchéité des portes du sas lorsque l'autre porte du sas est ouverte • défaillance de la logique d'isolation du confinement • défaillance des vannes d'isolation • perte du système d'arrosage • perte du système de la décharge d'air filtré d'urgence • défaillance des soupapes de sûreté de vapeur • défaillance des refroidisseurs locaux d'air • défaillance du système de contrôle de l'hydrogène • défaillance des vannes de retenue

2.2.6 Événements de cause commune

Relever tous les événements plausibles[4] que la centrale a été conçue pour supporter (événements de dimensionnement de cause commune, y compris les événements précisés au tableau 2.5. (Prendre note que la liste donnée dans ce tableau n'est pas exhaustive). Quantifier et justifier les paramètres[5] de ces événements. Les paramètres des événements de cause commune qui se produisent pendant l'exploitation normale peuvent différer de ceux qui se produisent dans les 30 jours suivant un événement ou pendant la période nécessaire à la remise en exploitation normale de la centrale si cette période est la plus courte, avant ou après un autre événement déclencheur. Soumettre aux fins d'acceptation ces paramètres à la CCEA avant de procéder à l'évaluation des risques (décrite à la partie 3).

Tableau 2.5 : Événements particuliers de cause commune

- incendie (une zone d'incendie, liquides inflammables, nuages de gaz inflammables)
- séisme
- tornade
- explosion
- rejet de gaz toxiques
- rejet de produits chimiques corrosifs
- inondation interne
- inondation externe
- conditions météorologiques extrêmes (vent, pluie, grêle, neige, glace, foudre, température, sécheresse)
- écrasement d'avion
- brouillage électromagnétique causé par des appareils de télécommunications
- événements se produisant dans d'autres réacteurs sur le même site

2.2.7 Combinaisons d'événements

Identifier toutes les combinaisons d'événements plausibles à l'origine des défaillances des systèmes reliés à la sûreté et les événements de cause commune qui peuvent se produire dans les 30 jours suivant l'événement déclencheur ou pendant la période nécessaire à la remise en exploitation normale de la centrale si cette période est la plus courte. Inclure les combinaisons qui comprennent un événement et un état de centrale étant survenu ou pouvant se produire pendant la vie de la centrale pour lesquels une action doit être prise[6] pour ramener la centrale à un état de centrale admissible.

2.2.8 Séquences d'événements

(a) Identifier une séquence d'événements pour chaque combinaison de réussite ou de défaillance[7] de chacun des systèmes d'atténuation, et pour chacun des événements graves (inquiétants) pour lequel l'événement déclencheur n'est pas un événement de cause commune. La défaillance des systèmes d'atténuation comprennent les manquements à effectuer une procédure lorsque celle-ci est requise. Identifier tous les événements dont la probabilité d'occurrence annuelle totale est supérieure à 10^{-7}.

(b) Si la CCEA a accepté par écrit que le sous-système peut être traité comme indépendant, les séquences d'événements n'ont qu'à inclure une séquence d'événements particulière pour chaque combinaison de réussite ou de défaillance de n'importe lequel des sous-systèmes d'un système spécial de sûreté.

(c) Inclure une séquence d'événements pour chaque combinaison de réussite ou de défaillance de n'importe lequel[8] des composants qui :

- doivent changer d'état ou
- sont dépendants d'une fonction du système de support à la sûreté pour chaque système spécial de sûreté et pour chaque défaillance grave d'un système de procédé.

2.2.9 Conditions météorologiques

La durée des scénarios météorologiques est de 30 jours.

2.2.10 Dépendances

Identifier les dépendances (y compris les effets de mode commun) parmi toutes les combinaisons de paramètres de l'état de centrale, le biais et la variance des erreurs d'instrumentation, le biais dans les méthodes de calcul, les scénarios météorologiques, les événements déclencheurs, les combinaisons d'événements, les séquences d'événements et les défaillances des systèmes reliés à la sûreté, y compris les interventions de l'opérateur. Inclure les corrélations spécifiées au tableau 2.6 (non exhaustif) selon le cas.

Tableau 2.6 : Dépendances

Type	Dépendances
État de centrale	• équipement non disponible à l'arrêt ou à basse puissance • équipement fonctionnant à l'arrêt ou à basse puissance • dépendance des conditions météorologiques et de la puissance sur le temps pendant la charge quotidienne • pic de concentration d'iode après l'arrêt, le démarrage ou le déchargement du combustible • concentration élevée de poison lors du démarrage
Événement (déclencheur)	• tailles de bris pour lesquelles il n'y a pas isolation automatique du confinement • temps disponible pour l'intervention de l'opérateur • marge réduite entraînant une défaillance intempestive à la suite d'un événement
Effets environnementaux	• défaillances de l'équipement (y compris des composants comme le combustible, les canaux de combustible, la calandre, les tubes des générateurs de vapeur, les vannes, les pompes et la salle de commande) ou équipement inaccessible dans un milieu hostile (inondation, condensation, humidité, air d'instrumentation humide, corrosion, vibration, pression, radiation, température et chauffage par le combustible, produits d'activation, produits de fission, vapeur ou flamme fixe d'hydrogène) • fuite ou rupture des tubes des générateurs de vapeur lors d'un événement • défaillance de la calandre lors d'une déflagration

suite...

Tableau 2.6 : Dépendances (suite)

Effets dynamiques	• coup de bélier • charges due à un impact • forces de réaction • fouettement et jets de liquide à la suite de la défaillance d'un circuit sous pression • charges hydrodynamiques causées par le choucage et l'oscillation de la condensation • ondes de choc provoquées par la combustion de l'hydrogène, la rupture de canaux de combustible ou l'interaction entre le combustible en fusion et le modérateur • bris du tube de calandre suite au bris du tube de force • éjection du raccord d'extrémité suite au bris du tube de force ou du raccord d'extrémité • éjection du combustible suite au bris du tube de force ou du raccord d'extrémité • défaillance d'un tube de réseau suite au bris du raccord d'extrémité • perte de caloporteur primaire causée par la défaillance d'un ou de plusieurs canaux de combustible suite à une défaillance lors du chargement du combustible • rupture de la seconde enveloppe de pression causée par l'impact des éléments de combustible en cas de bris à l'admission
Effets fonctionnels	• coïncidence d'exigences fonctionnelles entraînant une surcharge • modification au NPSH • accroissement de la charge sur un omnibus • accélération du débit dans les vannes • surcharge d'un filtre • pression ou contraintes accrues • marge réduite entraînant un déclenchement intempestif à la suite d'un événement
Effets de cause commune	• précurseurs (par exemple, une lacune commune dans la conception, la fabrication, l'installation, la mise en service ou les procédures d'exploitation comme l'entretien ou des points communs dans les procédures d'étalonnage pour les deux systèmes d'arrêt d'urgence) qui contribuent à la défaillance du système d'atténuation et à l'événement déclencheur, ou à d'autres systèmes d'atténuation • l'utilisation de personnel commun (designer, agent d'entretien, analyste)
Interventions de l'opérateur	• interventions effectuées suite à un diagnostic porté à partir des procédures d'exploitation, mais en utilisant des indications ambiguës.

2.2.11 Séquences de défaillances

Dériver les séquences de défaillances en définissant chaque combinaison d'état de centrale et de scénario météorologique pour chaque séquence d'événements. Tenir compte des dépendances.

Notes

1. La tenue à jour de la documentation relative à la centrale nucléaire ne fait pas l'objet du présent guide.

2. On peut trouver de l'information sur des événements qui surviennent dans d'autres centrales nucléaires dans le système de rapport d'incidents de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et auprès de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire.

3. La revue devrait être conforme aux normes reconnues sur le plan international. Utiliser une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) pour satisfaire certains des éléments de la revue systématique. Utiliser l'étude probabiliste de sûreté (voir partie 5). L'évaluation peut compléter, améliorer ou soutenir une AMDE particulièrement dans le but de composer avec les événements déclencheurs liés principalement aux défaillances de cause commune ou aux défaillances multiples. Cela a pour but de confirmer, par exemple, la fiabilité, la séparation et la diversification des sources froides. La justification de l'analyse en profondeur de la revue fait partie de la demande d'acceptation du programme d'assurance de la qualité des analyses de sûreté.

4. La définition des événements de référence de cause commune ne fait pas l'objet du présent document. La probabilité que ces événements surviennent ne vise pas à être aussi élevée que les événements de classe 1 ni aussi faible que les événements de classe 5. Les événements de référence de cause commune qui sont plausibles seront moins graves s'ils se produisent à l'intérieur d'une certaine période suivant un événement.

5. Par exemple, une tornade de référence sera quantifiée en fonction des paramètres de tornade—vitesse du vent, vitesse d'avance du tourbillon, rayon de la vitesse tangentielle maximale et chute maximale de pression atmosphérique—et des projectiles imputables à la tornade.

6. Un état de centrale qui est survenu ou pourrait se produire au cours de la vie de la centrale et pour lequel une intervention de l'opérateur est requise afin de ramener la centrale à un état admissible est traité comme une défaillance de la gestion de la configuration de la centrale.

7. Les défaillances des systèmes d'atténuation comprennent les défaillances préalables. À ce titre, les séquences d'événements comprennent certaines combinaisons d'événements (consistant en une défaillance préalable des systèmes d'atténuation et en un événement déclencheur subséquent). Elles peuvent également être interprétées comme incluant certains états de centrale dont la probabilité est faible au moment où survient l'événement déclencheur.

8. L'analyse des effets de mode commun et l'examen des procédures d'exploitation devraient permettre de déterminer si certains autres composants ne devaient pas être crédités.

3. Traitement des événements de cause commune

La présente partie décrit les lignes directrices pour l'évaluation des risques lors de la réponse aux événements de cause commune relevés dans la revue systématique de la centrale (voir partie 2).

3.1 Méthode recommandée

3.1.1 Évaluation des risques

(a) L'évaluation des risques est une revue systématique de la centrale nucléaire visant à démontrer que :

- la conception incorpore suffisamment de systèmes d'atténuation aptes à fonctionner pendant et après chacun des événements de cause commune
- le personnel d'exploitation a les outils nécessaires pour exécuter les tâches essentielles
- les interventions du personnel d'exploitation sont réalisables.

(b) Démontrer que les systèmes qualifiés respectent les critères de sûreté afin de permettre :

- de placer la centrale en état d'arrêt sécuritaire
- de maintenir l'intégrité du combustible dans le coeur
- de maintenir l'intégrité du circuit caloporteur primaire et du confinement de façon à ce qu'un événement grave ne puisse pas se produire.

3.1.2 Systèmes d'atténuation

(a) Identifier tous les systèmes d'atténuation (y compris les structures et interventions de l'opérateur) qui ont été crédités pendant et après l'événement.

(b) **Remarque :** Seuls les systèmes d'atténuation qualifiés sont considérés. Il faut supposer que les systèmes reliés à la sûreté non qualifiés connaîtront une défaillance, sauf dans les cas où l'exploitation continue de ces systèmes donnerait lieu à des conséquences plus graves. Des exceptions peuvent être envisagées si une justification est fournie pour soutenir l'hypothèse que les systèmes non qualifiés ne connaîtront pas de défaillance.

3.1.3 Composants qualifiés

Identifier chaque composant qualifié et les événements pour lesquels il est qualifié.

3.1.4 Procédures d'exploitation

Pour chaque événement, identifier les paramètres de centrale ou les paramètres d'exploitation pour lesquels l'événement est limitatif. Identifier les critères de sûreté correspondants. (Voir l'annexe B pour de plus amples renseignements).

3.1.5 Rejets et calcul de doses

Évaluer les rejets de matières radioactives en suspension dans l'air et dans l'eau et la dose reçue par l'opérateur suite aux actions essentielles qu'il doit prendre pendant et après l'événement de cause commune.

3.2 Méthode de rechange

Une solution de rechange à l'évaluation des risques consiste à quantifier et à justifier cinq ensembles de paramètres pour l'événement. Un ensemble de paramètres se rapporte à chaque classe d'événements (voir annexe A).

4. Traitement des séquences de défaillances

La présente partie comporte des lignes directrices pour la classification des événements et pour l'analyse des séquences de défaillances (pour les événements autres que les événements de cause commune).

4.1 Classification des événements

Cette section décrit une méthode déterministe de classification des événements et des combinaisons d'événements. À titre de solution de rechange, l'orientation décrite à l'annexe A peut également être utilisée pour classifier les séquences de défaillances.

4.1.1 Événements déclencheurs

La classification des événements déclencheurs est donnée au tableau 4.1. (Prendre note que la liste donnée dans ce tableau n'est pas exhaustive). Les événements déclencheurs qui ne figurent pas au tableau 4.1 sont classés au tableau 4.2. Les événements déclencheurs qui figurent au tableau 4.2 ne s'appliquent qu'aux systèmes qui fonctionnent[1] dans les conditions nominales.

Tableau 4.1 : Classification des événements déclencheurs particuliers

Défaillances de classe 1
Défaillance :
• des ordinateurs de contrôle
• du système de contrôle de la puissance
• du contrôle de la pression du générateur de vapeur
• du contrôle de l'inventaire du générateur de vapeur
• du contrôle de l'inventaire du dégazeur
• du contrôle de la pression du circuit caloporteur primaire
• du contrôle de l'inventaire du circuit caloporteur primaire
• du contrôle de la température du système d'évacuation de la chaleur résiduelle
• du contrôle de l'inventaire du modérateur

suite...

Tableau 4.1 : Classification des événements déclencheurs particuliers (suite)

- du contrôle de la température du modérateur
- du circuit d'air comprimé (appareils ou service)
- du débit d'eau de service
- des joints d'étanchéité ou des vannes causant une perte d'eau de service
- de l'alimentation électrique
- du système de chauffage, de ventilation ou de climatisation
- d'une soupape de sûreté dans un système de confinement sous vide
- du rejet de charge ou du contrôle du turbogénérateur
- du vide au condenseur
- du débit normal d'eau d'alimentation des générateurs de vapeur
- d'une vanne d'isolation d'une conduite de vapeur
- d'une tuyauterie causant une très petite perte de fluide caloporteur primaire
- de joints ou de vannes causant une perte de fluide caloporteur primaire
- de joints ou de vannes causant une perte de fluide caloporteur secondaire
- d'un tube de générateur de vapeur
- d'un tube de force de tout canal de combustible
- de vannes du circuit caloporteur primaire
- d'une vanne d'isolation des boucles du circuit caloporteur primaire ou d'une vanne de raccord du pressuriseur
- du système de purification du circuit caloporteur primaire
- du système d'évacuation de la chaleur résiduelle (à l'exclusion des défaillances de tuyauteries autres qu'un tube de l'échangeur de chaleur)
- du circuit du modérateur (à l'exclusion des défaillances de tuyauteries autres qu'un tube de l'échangeur de chaleur)
- de joints ou de vannes causant une perte d'eau du circuit modérateur
- du circuit de refroidissement du bouclier du réacteur (à l'exclusion des défaillances de tuyauteries autres qu'un tube de l'échangeur de chaleur)
- du circuit de gaz de couverture du modérateur
- du système de gestion du D_2O
- d'une machine de chargement du combustible lors de la réinstallation du bouchon de fermeture du canal de combustible

suite...

Tableau 4.1 : Classification des événements déclencheurs particuliers (suite)

- du circuit de refroidissement d'une machine de chargement du combustible
- du système de gestion des déchets radioactifs (gazeux, liquides et solides)
- des circuits de refroidissement, de purification ou de ventilation de la piscine de stockage
- déclenchement du SRUC par inadvertance
- déclenchement de l'arrosage par inadvertance
- dommage au combustible lors du transfert du combustible entre le coeur du réacteur et la piscine de stockage
- dommage au combustible dans la piscine de stockage
- état de centrale au-delà des limites admissibles
- opérateur effectuant une intervention unique à un moment qui ne convient pas

Défaillances de classe 2

Défaillance :

- d'une tuyauterie causant une perte d'eau de service
- d'une tuyauterie causant une perte de fluide caloporteur secondaire du réacteur
- d'une tuyauterie causant une petite perte de fluide caloporteur primaire d'un raccord d'extrémité d'un canal de combustible
- de vannes d'isolation du système d'évacuation de la chaleur résiduelle
- de vannes d'isolation du système de refroidissement d'urgence du coeur
- de la plaque de division primaire du générateur de vapeur
- de l'arbre d'une pompe du caloporteur primaire du réacteur
- d'une tuyauterie ou d'un tube de calandre entraînant une perte de modérateur
- d'une tuyauterie entraînant une perte de fluide caloporteur des boucliers du réacteur
- de l'enveloppe sous pression de la machine de chargement du combustible
- blocage d'un canal de combustible
- obstruction d'une pompe du circuit caloporteur primaire du réacteur

suite...

Tableau 4.1 : Classification des événements déclencheurs particuliers (suite)

Défaillances de classe 3
Défaillance : • d'une tuyauterie entraînant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur • d'un grand nombre de tubes de générateur de vapeur • d'un raccord d'extrémité de plusieurs canaux de combustible • d'un raccord d'extrémité de tout canal de combustible entraînant la défaillance du tube de réseau • d'un composant entraînant un reflux vers le SRUC

Défaillances de classe 5 - Probabilité très basse*
• rupture d'une turbine • chute d'une grosse charge sur le plancher des mécanismes de réactivité • défaillance des supports d'un générateur de vapeur • défaillance mécanique massive d'un composant d'une pompe du caloporteur primaire du réacteur • défaillance massive (sur toute la longueur) d'un collecteur de réacteur • défaillance massive du tunnel d'amenée ou de la conduite d'évacuation de l'eau de service

* À moins qu'une justification, sujette à l'acceptation par la CCEA, soit donnée pour démontrer que la probabilité d'occurrence de ces événements est suffisamment basse, les conséquences des événements doivent être déterminées.

Tableau 4.2 : Classification des événements déclencheurs

Classe	Description de la défaillance
Classe 1	• défaillance d'un système actif
Classe 2	• défaillance d'un composant passif non nucléaire standard • défaillance d'un des nombreux composants passifs nucléaires standard semblables
Classe 3	• défaillance d'un composant passif nucléaire standard

4.1.2 Combinaisons d'événements

Le tableau 4.3 donne les classifications des combinaisons d'événements de deux événements comportant un événement de cause commune classé dans les cinq classes d'événements. Les états de centrale qui surviennent ou pourraient se produire au cours de la vie de la centrale et pour lesquels des actions sont requises pour ramener la centrale à un état admissible sont traités comme des événements simples (défaillances) de classe 1. Un second événement peut se produire en même temps que le premier événement ou dans les 30 jours qui le suivent. De telles combinaisons d'événements sont également classées à l'aide de ce tableau si le premier événement perdure au moment ou survient le deuxième événement. Dans le cas des événements triples, utiliser les lignes directrices à l'annexe A pour classer la combinaison d'événements.

Tableau 4.3 : Classification des combinaisons d'événements

Classe	Description de la défaillance
Classe 4	• Événement de classe 1 + événement de classe 1 quatre jours ou plus après le premier événement
Classe 5	• Événement de classe 3 + événement de classe 1 quatre jours ou plus après le premier événement • Événement de classe 2 + événement de classe 2 quatre jours ou plus après le premier événement • Événement de classe 2 + événement de classe 1 dix heures ou plus après le premier événement • Événement de classe 1 + événement de classe 3 quatre jours ou plus après le premier événement • Événement de classe 1 + événement de classe 2 dix heures ou plus après le premier événement • Événement de classe 1 + événement de classe 1 une heure ou plus après le premier événement

+ signifie « accompagné de »

4.1.3 Combinaisons d'événement accompagnées d'événements de cause commune

Si un événement de cause commune est traité dans une évaluation des risques, les combinaisons d'événements peuvent également être traitées dans une évaluation des risques (tel que décrit à la partie 3) ou l'événement peut être classé comme un événement de classe 5. Cela s'applique aux combinaisons d'événements qui ont un événement de cause commune à titre d'événement déclencheur, un événement de cause commune à titre d'événement second, ou de deux événements de cause commune.

4.1.4 Séquences d'événements

(a) La classification des séquences d'événements est donnée au tableau 4.4. Les défaillances des systèmes d'atténuation précisées au tableau 4.5 ne s'appliquent qu'aux systèmes considérés ("crédités") dans les analyses. Il ne faut considérer que des systèmes qui ne sont pas classés dans ce tableau puissent changer d'état et il faut supposer qu'ils sont dans leur pire état admissible. La défaillance d'un système d'atténuation spécifié au tableau 4.5 n'a pas à être considérée lorsque le système d'atténuation n'a pas besoin de changer d'état pour atténuer les conséquences d'un événement.

(b) La défaillance des systèmes d'atténuation du tableau 4.4 désigne le mauvais fonctionnement d'un système d'atténuation lors d'un événement grave. Les ruptures de conduites et autres défaillances de composants passifs ou structuraux sont exclues; les défaillances de ce type sont considérées comme étant des événements déclencheurs et sont incluses dans les combinaisons d'événements déclencheurs (tout comme les défaillances empêchant les composants actifs des systèmes d'atténuation de remplir leur mission).

Tableau 4.4 : Classification des séquences d'événements

Classe	Séquence d'événements
Séquences d'événements de classe 2	• Événement de classe 1 + incapacité d'un système de procédé d'atténuation à réagir
Séquences d'événements de classe 3	• Événement de classe 2 + incapacité d'un système de procédé d'atténuation à réagir • Événement de classe 1 + défaillance d'un système d'urgence en attente • Événement de classe 1 + défaillance simple d'un système spécial de sûreté • Événement de classe 1 + erreur unique de l'opérateur
Séquences d'événements de classe 4	• Événement de classe 3 + incapacité d'un système de procédé d'atténuation à réagir • Événement de classe 2 + défaillance d'un système d'urgence en attente • Événement de classe 2 + défaillance simple d'un système spécial de sûreté • Événement de classe 2 + erreur unique de l'opérateur • Événement de classe 1 + défaillance d'un système spécial de sûreté
Séquences d'événements de classe 5	• Événement de classe 3 + défaillance d'un système d'urgence en attente • Événement de classe 3 + défaillance simple d'un système spécial de sûreté • Événement de classe 3 + erreur unique de l'opérateur • Événement de classe 4 + incapacité d'un système de procédé d'atténuation à réagir • Événement de classe 4 + défaillance simple d'un système spécial de sûreté • Événement de classe 4 + erreur unique de l'opérateur • Événement de classe 2 + défaillance d'un système spécial de sûreté • Rejet de charge du turbogénérateur + défaillance de la protection contre l'emballement des turbines • Événement de classe 3 + défaillance d'un système spécial de sûreté

+ signifie « accompagné de »

Tableau 4.5 : Classification des systèmes d'atténuation

Type de système	Système d'atténuation
Systèmes spéciaux de sûreté	• système d'arrêt d'urgence n° 1 • système d'arrêt d'urgence n° 2 • système de refroidissement d'urgence du coeur (SRUC) • système de confinement
Systèmes d'urgence en attente[2]	• soupape de sûreté de vapeur • déclenchement automatique de pompe • chauffage, ventilation et climatisation d'urgence • alimentation électrique d'urgence de catégorie III • alimentation électrique d'urgence • air comprimé d'urgence • eau du système d'extinction d'incendie • circuit de refroidissement d'urgence du générateur de vapeur • circuit d'eau de service d'urgence
Systèmes de procédé d'atténuation	• circuit d'eau d'alimentation d'appoint du générateur de vapeur • système d'évacuation de la chaleur résiduelle • circuit de récupération du caloporteur primaire du réacteur • système de contrôle de l'inventaire du caloporteur primaire du réacteur • circuit du modérateur • système de poison du modérateur • vanne d'isolation • purification de la piscine de stockage • système de purification de l'air de la piscine de stockage • système de gestion des effluents radioactifs gazeux • alimentation électrique normale • désamorçage des turbines • gaz annulaire • appareil de surveillance des effluents gazeux • appareil de surveillance des produits de fission gazeux • dispositif de localisation du combustible défectueux

4.1.5 Systèmes d'arrêt d'urgence

(a) Les séquences d'événements sont classifiées en supposant que l'intervention du système d'arrêt d'urgence le moins efficace empêche le système d'arrêt d'urgence le plus efficace de fonctionner.

(b) Ne prendre en compte que le moins efficace de deux des paramètres de déclenchement différents[3] du système d'arrêt d'urgence le moins efficace. Un paramètre est admis pour la protection contre la surpuissance, la perte rapide de contrôle de la réactivité à basse puissance, la perte d'inventaire du fluide caloporteur secondaire et la protection contre les surpressions[4] (voir également le document R-77). Dans ces situations, les paramètres simples acceptables sont respectivement le flux neutronique élevé, le taux élevé d'augmentation du logarithme du flux neutronique, le bas niveau des générateurs de vapeur et la pression élevée. Cependant, il faut faire l'analyse du mauvais étalonnage de ces paramètres de déclenchement dans les combinaisons d'événements de classe 4 ou 5 en considérant le mauvais étalonnage comme un événement de classe 1.

(c) Démontrer l'efficacité de chaque système d'arrêt d'urgence en cas de non-fonctionnement, de fonctionnement partiel et de fonctionnement normal de tout système d'atténuation[5] (y compris les autres systèmes spéciaux de sûreté) qui complète ou restreint l'insertion de réactivité négative du système d'arrêt. Classer le non-fonctionnement ou le fonctionnement partiel du système d'atténuation de la même manière que les séquences d'événements accompagnées d'une défaillance du système d'atténuation.

4.1.6 Indépendance du SRUC

Démontrer l'efficacité du SRUC en cas de non-fonctionnement, de fonctionnement partiel et de fonctionnement normal de tout système d'atténuation[6] (y compris les autres systèmes spéciaux de sûreté) qui complète ou restreint la capacité de refroidissement du SRUC. Classer le non-fonctionnement et le fonctionnement partiel du système d'atténuation de la même manière que les séquences d'événements qui connaissent une défaillance d'un système d'atténuation.

4.1.7 Défaillance simple des systèmes spéciaux de sûreté

Classer les séquences d'événements qui connaissent une défaillance simple d'un ou de plusieurs systèmes spéciaux de sûreté dans la classe d'événements supérieure de deux niveaux[7] par rapport à la classe d'événements où il n'y a aucune défaillance simple d'aucun système spécial de sûreté. Cela s'applique aux séquences d'événements où il n'y a pas de défaillances simples d'aucun

des systèmes spéciaux de sûreté qui sont des événements des classes 1 à 3. Dans le cas d'une séquence d'événements où il n'y a pas de défaillances simples d'aucun des systèmes spéciaux de sûreté lors d'un événement de classe 4, classer les séquences d'événements où survient une défaillance simple d'un ou de plusieurs systèmes spéciaux de sûreté dans la classe 5 (c.-à-d. à un niveau supérieur seulement plutôt que deux). Supposer que les composants non testés ont subi une défaillance.

4.1.8 Erreur unique de l'opérateur

Classer les séquences d'événements où survient une erreur unique de l'opérateur lors d'une manipulation dans la classe d'événement supérieure de deux niveaux par rapport à la classe d'événements pour laquelle il n'y a aucune erreur faite lors des interventions ou séquences d'interventions de l'opérateur. (Considérer les omissions de l'opérateur comme des facteurs contribuant à la non-disponibilité du système d'atténuation touché.) Cela s'applique aux séquences d'événements où il n'y a aucune erreur de l'opérateur des classes 1 à 3. Dans le cas d'une séquence d'événements où il n'y a aucune erreur de l'opérateur lors d'un événement de classe 4, classer l'événement dans la classe 5.

4.1.9 Pire état de centrale

(a) Classer les séquences de défaillances dans la même classe d'événements que la séquence d'événements à partir de laquelle on a dérivé les séquences de défaillances lorsque :

- une séquence de défaillances se produit dans un état de centrale pour lequel les procédures d'exploitation permettent l'exploitation continue;
- une séquence de défaillances est issue d'un état transitoire[8] de centrale;
- une séquence de défaillances débute avec un état de centrale qui correspond à la limite de tolérance[9] en ce qui a trait à l'erreur d'instrumentation et à la limite admissible[10] du biais dans la méthode de calcul utilisée.

(b) Ne pas traiter les états de centrale nucléaire admissibles comme des variables aléatoires.

(c) Analyser le pire état de fonctionnement d'une centrale[11] à l'intérieur de l'enveloppe d'exploitation (en prenant en considération la tolérance et les délais des systèmes de sûreté comme les instruments) qui est autorisé pour une exploitation normale continue en vertu des procédures, en fonction de chacun des critères d'acceptation de

l'analyse de sûreté. Les séquences de défaillances ne doivent pas être subdivisées dans le but de placer dans une classe plus élevée d'événements une séquence particulière de défaillances pour laquelle l'état admissible de centrale a une faible fréquence d'occurrence[12].

4.1.10 Séquences de défaillances comportant une défaillance partielle

L'analyse de chaque séquence de défaillances doit tenir compte des défaillances totales et partielles des systèmes reliés à la sûreté. Si l'analyse porte uniquement sur le pire des cas[13], il faut indiquer les raisons de ce choix.

4.1.11 Subdivision des modes de défaillance

Les séquences de défaillances ne doivent pas être subdivisées dans le but de placer une séquence particulière, avec la même perte de fonctionnalité ou effet indésirable, dans une classe supérieure.

4.1.12 Défaillance la plus défavorable d'une tuyauterie ou d'un collecteur

(a) Tenir compte de tout bris circonférentielle ou longitudinale en tout point du système. L'analyse d'une défaillance de tuyauterie et de collecteur doit tenir compte des faits suivants :

- Dans le cas des ruptures circonférentielles, l'analyse doit être faite pour une section d'écoulement allant jusqu'à deux fois la section de passage de la tuyauterie ou du collecteur.
- Il faut aussi tenir compte des défaillances résultant de ruptures longitudinales et fournir une justification de la taille de la rupture hypothétique.
- L'analyse doit déterminer l'endroit, la taille et l'orientation de la rupture qui sont les plus défavorables[14] pour chacun des critères de l'analyse de sûreté, en utilisant un modèle de rupture conservateur.

(b) Analyser ces défaillances même si la CCEA a accepté l'analyse d'une fuite avant rupture ("leak-before-break"), la détection et l'intervention au lieu de procéder à l'assujettissement de la tuyauterie.

4.1.13 Défaillance d'un vaisseau sous pression

(a) Inclure les défaillances massives de chaque vaisseau sous pression dans la classe 5 d'événements à moins qu'il puisse être démontré qu'une telle défaillance est suffisamment improbable. Si cette dérogation est faite :

i. concevoir, fabriquer, installer et exploiter le vaisseau conformément aux exigences nucléaires du code technique

applicable et à d'autres exigences que la CCEA pourrait estimer appropriées;

ii. le vaisseau sous pression n'est pas un collecteur;

iii. mettre sur pied un programme d'inspection acceptable pour la CCEA;

iv. une fuite détectable se produira à la pression de fonctionnement normal bien avant que la longueur de fissure critique ne soit atteinte de façon à ce qu'une rupture ne puisse se produire;

v. mettre en service des systèmes fiables servant à détecter la présence d'une fuite qui est acceptable pour la CCEA; élaborer des procédures d'exploitation appropriées décrivant les mesures à prendre suite à la détection d'une fuite.

(b) **Remarque :** Les paragraphes d) et e) ne s'appliquent pas si l'acceptation est donnée par la CCEA.

4.1.14 Conditions météorologiques

Classer les séquences de défaillances qui découlent de conditions météorologiques donnant lieu à des conséquences qui ne sont pas dépassées la plus grande partie du temps[15] dans la même classe d'événements que la séquence d'événements à partir de laquelle les séquences de défaillances ont été dérivées.

4.1.15 Dépendances

Classer une séquence de défaillances avec des dépendances dans la même classe d'événements que la séquence d'événements à partir de laquelle elle a été dérivée.

4.1.16 Dépendances entre des événements

Si un événement de la séquence d'événements dépend d'un autre événement de la séquence d'événements, classer la séquence de défaillances dans la même classe que la séquence d'événements sans l'événement qui dépend de l'autre.

4.1.17 Probabilité minimale pour considérer un événement

Sujette à l'approbation écrite par la CCEA, la classification et l'analyse d'un événement dont la probabilité d'occurrence annuelle totale est inférieure à 10^6 n'est habituellement[16] pas requise[17].

4.1.18 Protection contre les surpressions

Dans le cas des centrales auxquelles le document de réglementation R–77 s'applique, effectuer une classification distincte de tous les événements qui donnent lieu à une surpression dans le circuit caloporteur primaire, conformément au R–77[18].

4.1.19 Acceptation de la classification

Obtenir l'acceptation de la CCEA pour la classification des séquences individuelles de défaillances de façon ponctuelle avant de présenter une analyse des séquences de défaillances.

4.2 Analyse des séquences de défaillances

Le paragraphe ci-après comporte des lignes directrices concernant la réalisation d'une analyse de séquences de défaillances.

4.2.1 Documentation

(a) Pour chaque séquence de défaillances limitative, relever la documentation disponible concernant :

- les exigences en matière d'assurance de la qualité
- les normes et procédures d'analyse
- les modèles mathématiques
- les méthodes de calcul
- le soutien expérimental et analytique.

(b) Noter le groupement des séquences de défaillances non limitatives, les modes de défaillance, les états de centrale, les considérations relatives aux systèmes d'atténuation et aux interventions de l'opérateur, la durée de l'analyse, les disciplines intervenant dans l'analyse, les incertitudes, les marges de sûreté et les critères d'acceptation.

4.2.2 Groupes de séquences de défaillances

Pour chaque classe d'événements, relever les groupes de séquences de défaillances, groupés selon un comportement semblable de la centrale (demande sur les systèmes d'atténuation, procédures d'exploitation considérées, critères de réussite des procédures d'exploitation et des systèmes d'atténuation) lorsque les conditions météorologiques, l'état initial de la centrale et les modes communs sont considérés. Pour chaque groupe de séquences de défaillances, identifier les procédures d'exploitation considérées et les systèmes d'atténuation qui répondent à l'événement transitoire ainsi que leurs critères de réussite.

4.2.3 Limites des séquences de défaillances

Relever et analyser les variables avec des transitoires/incertitudes importantes pour les séquences de défaillances limitatives pour chaque procédure d'exploitation, pour chaque mesure d'atténuation ainsi que pour chaque critère de performance du système d'atténuation. Pour chaque exigence, fournir une justification des éléments suivants :

- pourquoi d'autres groupes de séquences de défaillances ne sont pas limitatifs
- pourquoi d'autres séquences de défaillances des groupes de séquences de défaillances limitatives ne sont pas limitatives
- pourquoi d'autres variables transitoires ne sont pas analysées de façon détaillée.

4.2.4 Systèmes reliés à la sûreté

L'analyse doit :

- relever les systèmes d'atténuation considérés
- relever les effets de mode commun des séquences de défaillances
- déterminer les effets de mode commun sur les systèmes reliés à la sûreté
- définir les procédures d'exploitation[19], de même que les exigences fonctionnelles et de fiabilité relatives à chacun des systèmes d'atténuation considérés.

4.2.5 Capacité et qualification des systèmes d'atténuation

Ne tenir compte que des systèmes d'atténuation qui sont conçus pour accomplir la fonction prévue[20] et qui sont capables de résister à tous les effets de mode commun[21] découlant de la séquence de défaillances[22].

4.2.6 Capacité des composants qui ne sont pas qualifiés

Si le fonctionnement des composants qui ne sont pas qualifiés donne lieu à une situation plus défavorable, supposer que ces composants fonctionnent normalement.

4.2.7 Normes de rendement minimal admissible

Considérer que les systèmes d'atténuation ne remplissent leurs fonctions qu'à la limite de leurs normes de rendement minimal admissible[23]. Supposer que les systèmes d'atténuation qui sont à l'extérieur de leur rendement minimal admissible ont connu une défaillance.

4.2.8 Couverture des paramètres de déclenchement

Pour chaque système spécial de sûreté, analyser l'étendue de la couverture des paramètres de déclenchement pour tous les états de centrale et toutes les séquences de défaillances.

4.2.9 Intervention de l'opérateur

(a) Identifier les actions de l'opérateur requises pour atténuer les conséquences et le temps requis pour les effectuer. Identifier particulièrement :

- les procédures d'exploitation pour établir les diagnostics, les actions, la vérification des mesures réussies ainsi que les mesures correctives pour rectifier une erreur d'opérateur
- le temps qui doit s'écouler entre le moment où l'événement déclencheur se produit et le moment où il est signalé à l'opérateur
- le temps requis pour procéder au diagnostic
- le temps requis pour effectuer une intervention
- le temps requis pour que la fonction de sûreté soit complétée
- le temps requis pour signaler que la fonction de sûreté est terminée
- le temps requis pour vérifier que l'intervention a été effectuée correctement
- le temps requis pour terminer la rectification d'une erreur
- la preuve à l'appui de ces périodes de temps
- la formation particulière nécessaire pour l'opérateur les compétences requises de l'opérateur pour effectuer un diagnostic, une intervention et une vérification

- tout personnel et équipement de soutien additionnel
- les instruments de diagnostic, leur qualification et leur plage de fonctionnement
- les instruments de vérification, leur qualification et leur plage de fonctionnement
- les trajets d'entrée et de sortie
- les conditions environnementales
- les erreurs plausibles de l'opérateur lorsqu'il effectue des interventions.

(b) Évaluer et justifier le temps que consacre l'opérateur à la détection, à diagnostiquer complètement et à effectuer les interventions requises.

(c) On ne doit tenir compte des interventions de l'opérateur que si les procédures d'exploitation spécifient clairement les actions nécessaires, que les opérateurs reçoivent une formation adéquate et que des équipements fiables sont disponibles pour donner une indication claire et non ambiguë de la nécessité de prendre ces mesures. Les procédures devraient être claires, bien définies et facilement accessibles.

(d) Suite à la première indication claire et non ambiguë de la nécessité d'une intervention, on doit supposer que l'action de l'opérateur ne peut être exécutée qu'après les délais suivants :

- 15 minutes dans le cas des interventions à partir de la salle de commande principale,
- 30 minutes dans le cas des interventions à l'extérieur de la salle de commande principale.

(e) Il faudrait prévoir un délai supplémentaire s'il est nécessaire de porter des vêtements protecteurs pour effectuer les interventions requises; ce délai supplémentaire doit tenir compte du temps requis pour mettre les vêtements protecteurs et du temps additionnel nécessaire pour effectuer les travaux en portant ce type de vêtements.

(f) Pour démontrer qu'une indication est non ambiguë, présenter la preuve que l'indication est claire, qu'elle ne requiert aucune interprétation et que des causes multiples ne mènent pas à la même indication. Considérer, sans le créditer dans les analyses de sûreté, les actions de l'opérateur effectuées avant le délai minimal autorisé dans l'analyse de sûreté, lors de la démonstration d'une ambiguïté possible pour les interventions subséquentes de l'opérateur. Des analyses utilisant une gamme complète d'états de centrale, de modes de défaillance et d'hypothèses de meilleures estimées peuvent être nécessaires pour démontrer que l'indication relative à une mesure correctrice n'est pas ambiguë.

4.2.10 Durée de l'analyse

Réaliser l'analyse pour la période s'écoulant entre l'événement déclencheur :

- et le moment où la centrale revient à l'état de fonctionnement normal;
- et le moment où la centrale atteint l'état d'arrêt sûr;
- et les 30 jours qui suivent[24], si les exigences relatives au taux de relâche d'un état d'arrêt sécuritaire ne peuvent être satisfaites.

4.2.11 Physique des réacteurs

L'analyse doit :

- identifier l'état initial du réacteur[25]
- déterminer le flux neutronique initial et les distributions de puissance dans le réacteur
- définir toutes les hypothèses de départ[26]
- calculer les variations survenant dans :
  - l'état du réacteur[27]
  - les valeurs indiquées par les détecteurs
  - la réactivité
  - le flux neutronique et les distributions de puissance.

4.2.12 Transfert de chaleur

L'analyse doit :

- identifier et quantifier les sources de chaleur de la centrale nucléaire[28]
- identifier les sources froides primaires
- établir les voies et les modes de transfert de chaleur de toutes les sources de chaleur jusqu'à la source froide ultime[29]
- calculer la quantité de chaleur transférée en fonction du temps pour chacune des voies et des modes de transfert.

4.2.13 Intégrité du combustible, des composants sous pression et des structures

L'analyse doit :

- identifier et tenir compte des charges normales et des charges en conditions d'accidents[30], y compris les charges dépendantes du temps, les charges résiduelles, les charges de vitesse, les charges spatiales, locales et induites par des composants avoisinants
- calculer les effets de l'exploitation normale et de l'accident sur les propriétés des matériaux[31] et les limites d'intégrité
- identifier et justifier les caractéristiques de défauts supposées
- déterminer l'efficacité et les résultats de l'inspection
- calculer la déformation élastique et la déformation permanente, les facteurs d'intensité de contrainte, la dilatation, le cisaillement, la dissipation, le mouvement, les oscillations, les ondes, les trajets de déplacement, la diffusion, les espaces de fermeture et d'ouverture, la fatigue et la fissuration
- identifier les mécanismes de défaillance
- calculer, pour chaque mécanisme de défaillance, la probabilité de défaillance ou la marge disponible avant qu'une défaillance survienne
- identifier la période de temps de validité ainsi que les pratiques de surveillance et de gestion du vieillissement supposées.

4.2.14 Rejet de matières radioactives

L'analyse doit :

- identifier et quantifier les matières radioactives[32] qui pourraient être rejetées;
- déterminer, pour chacune de ces substances radioactives[33], les volumes retenus considérés, les barrières au rejet en cause, les voies de rejet pour chacune des barrières et leur mode de transport;
- calculer, pour chaque voie de rejet, la quantité de substances radioactives rejetées pour chacune des barrières en fonction du temps[34], y compris les rejets du confinement[35] pour chaque groupe de substances radioactives semblables, à des intervalles de 1 heure, de 10 heures, de 4 jours et de 30 jours après l'événement déclencheur;
- calculer les champs de rayonnement et l'échauffement des composants et des structures imputable aux matières radioactives;
- calculer les doses reçues par les opérateurs[36];
- calculer la dispersion atmosphérique et les dépôts au sol des substances radioactives;
- calculer le rejet d'effluents liquides.

4.2.15 Doses propres à la durée du rejet[37]

(a) Calculer[38] la dose reçue par un individu hypothétique le plus exposé, qui est un individu moyen du groupe critique, pour lequel les conséquences radiologiques du rejet sont les plus graves à la frontière du site ou au-delà. Inclure l'apport du rayonnement externe, les matières radioactives inhalées et l'absorption par la peau du tritium à l'aide d'un scénario météorologique conservateur. (Un scénario météorologique conservateur est un scénario du décile supérieur des scénarios météorologiques, classés selon la dose.) Inclure les doses externes et internes en provenance du panache et des dépôts au sol et supposer qu'il n'y a aucune intervention sous forme de décontamination ou d'évacuation. On peut supposer une intervention en cas d'ingestion de matières radioactives et des processus naturels d'élimination. Effectuer les calculs de dose pour les périodes suivantes : 1 heure, 10 heures, 4 jours et 30 jours après l'événement déclencheur.

(b) Pour la période débutant 30 jours après l'événement déclencheur, calculer[39] la dose annuelle[40] reçue par l'individu le plus exposé du public qui correspond à un individu moyen du groupe critique pour lequel les conséquences du rejet sont les plus graves.

Tenir compte de l'apport de toutes les voies d'accès, y compris les doses engagées à compter de la période de rejet de 30 jours, le rayonnement externe, les matières radioactives inhalées, les matières radioactives ingérées et l'absorption par la peau. Relever les matières radioactives prépondérantes et les voies d'accès. Établir la moyenne pour les scénarios météorologiques pondérée selon leur probabilité. Tenir compte des effets sur la dose imputable de l'utilisation normale et continue du terrain et de l'eau. Supposer qu'il n'y a aucune intervention, comme la décontamination ou l'évacuation. On peut prendre en considération les processus naturels d'élimination.

(c) Calculer la dose collective[41] à la population existante pour les périodes suivantes : 1 heure, 10 heures, 4 jours, 30 jours et un an après l'événement déclencheur.

4.2.16 Critères d'acceptation dérivés[42]

Identifier les modèles mathématiques, les méthodes de calcul et les corrélations utilisés ainsi que la portée de leur soutien expérimental, les hypothèses (p. ex. intégrité des structures et des composants) et conditions d'applicabilité. Identifier toute autre contrainte utilisée pour démontrer que les limites de doses et de rejets sont respectées. Ajouter ces contraintes au tableau 4.9 et démontrer avec un haut niveau de confiance[43] que les exigences et limites sont respectées. Inclure les limites précisées au tableau 4.6 (non exhaustif) selon le cas.

Tableau 4.6 : Critères dérivés des hypothèses d'analyse

- limites de niveau de service pour les pénétrations du confinement
- évitement des défaillances des tubes de générateurs de vapeur
- tubes du générateur de vapeur, combustible et canaux de combustible qui demeurent propres au service
- pression de la calandre inférieure à la pression nominale positive
- pression du caloporteur secondaire inférieur à la pression nominale positive
- évitement des dommages résultants causés aux composants se trouvant à l'intérieur du coeur
- évitement des contraintes résultantes exercées sur le tube de force lorsque la pression du caloporteur est élevée
- évitement de l'assèchement du tube de calandre lorsque la pression du caloporteur est élevée ou lorsque le combustible a fondu ou s'est liquéfié
- évitement d'une défaillance du tube de force
- limiter l'étendue, la gravité et la durée de l'assèchement de la gaine du combustible, de la déformation du combustible et échauffement du tube de force à puissance élevée pour les périodes excédant la constante de temps thermique du combustible
- évitement des contraintes résultantes exercées sur la gaine du combustible
- évitement de l'oxydation du combustible résultante
- évitement des contraintes résultant de l'allongement axial des éléments de combustible dépassant les limites du niveau de service des canaux de combustible ou résultant en un contact entre la gaine de combustible et le tube de force ou en une modification importante de la configuration du combustible aux fins de l'évacuation de la chaleur à des températures en deçà du point de fusion de la gaine du combustible
- évitement d'un contact entre la gaine de combustible et le tube de force
- évitement de la fusion de la gaine du combustible ou des défaillances de fragilisation
- évitement de la fusion du centre du combustible
- limitation de l'importance de la liquéfaction
- évitement de la dispersion du combustible
- évitement de la criticité super-prompte

4.2.17 Exigences réglementaires connexes[44]

L'analyse doit :

- démontrer que les normes[45] du document de réglementation R–7[46] pour l'analyse du système de confinement sont respectées
- démontrer que les normes[47] des documents de réglementation R–8[48] et R–10 pour l'analyse des systèmes d'arrêt d'urgence sont respectées[49]
- démontrer que les normes[50] du document de réglementation R–9[51] pour l'analyse du SRUC sont respectées
- faire la preuve, pour les composants sous pression, que les limites opérationnelles appropriées indiquées dans le document de réglementation R–77, y compris les normes et codes techniques

applicables, sont respectées.

4.2.18 Validité de l'analyse

L'analyse doit :

(a) déterminer les hypothèses principales de l'analyse de sûreté, les paramètres (y compris les paramètres de procédé), les modèles et les méthodes pour lesquels les procédures d'exploitation et l'efficacité des systèmes d'atténuation sont les plus sensibles, y compris le degré de sensibilité de chacun

(b) considérer les biais et les incertitudes liées aux items identifiés en a), et ce avec une probabilité élevée

(c) évaluer la sensibilité en a) (excepté pour les événements de classe 5) en montrant qu'il n'y a pas dépassement des exigences de la classe supérieure suivante d'événements, avec une probabilité très élevée[52]. Si la marge est relativement faible, le titulaire de permis et la CCEA doivent s'entendre sur la nécessité d'approfondir l'analyse

(d) déterminer et justifier de manière conservatrice les incertitudes et les écarts (y compris les erreurs des instruments d'essai, les erreurs des boucles d'essai et des détecteurs et les erreurs de simulation) des marges de tolérance[53] des paramètres de procédés utilisés par les systèmes d'atténuation, et identifier les procédures d'exploitation[54] qui font en sorte que l'efficacité des systèmes d'atténuation soit maintenue

(e) identifier et prendre en compte de manière conservatrice la précision numérique des méthodes de calcul

(f) identifier les simplifications et les approximations utilisées dans les modèles mathématiques et les méthodes de calcul

(g) identifier le conservatisme des corrélations empiriques et des modèles mathématiques.

4.2.19 Marges de sûreté

Utiliser des marges et des facteurs de sécurité en accord aux bonnes pratiques d'ingénierie et aux codes et normes disponibles :

- identifier les limitations des niveaux de confiance atteignables pour la tolérance des paramètres d'analyse
- identifier les limitations des simplifications faites dans les analyses comme les phénomènes non quantifiés

- identifier comment les marges de sûreté tiennent compte de ces limitations.

4.2.20 Modèles mathématiques et méthodes de calcul

Vérifier que les modèles mathématiques et les méthodes de calcul(y compris les données d'entrée) constituent une prévision conservatrice[55] de chacune des exigences relatives à l'analyse de sûreté, qui peut être une estimation réaliste avec une tolérance conservatrice pour tenir compte de l'erreur. Il faut tenir compte de tous les phénomènes physiques, et que les simplifications faites soient appropriées.

4.2.21 Hypothèses conservatrices

Au moment de choisir des hypothèses conservatrices et les tolérances d'erreurs, il faut identifier et tenir compte de chaque effet figurant au tableau 4.7 (non exhaustif).

Tableau 4.7 : Effets à considérer dans le choix d'une hypothèse conservatrice

Effet	Exemples
seuils	• criticité • limite d'élasticité • assèchement • transition de phase • débit d'écoulement • coalescence • empage • tension superficielle • cavitation • charge minimale à l'aspiration de pompe • instabilité • turbulence • chaos • vitesse sonique • engorgement • points de consigne • limites de détection des instruments • capacité du vaisseau sous pression • contact entre les composants
aspect temporel	• coïncidence avec d'autres événements • logique • délais d'intervention de l'opérateur
effets concurrentiels	• s'annulant • se contrebalançant • se neutralisant • s'opposant les uns aux autres

différents mécanismes de défaillance	• effondrement • flambage • fluage diamétral non uniforme • contrainte athermique • fluage • fatigue • fissuration par corrosion sous contrainte • fragilisation • érosion • corrosion • dissolution • fusion • volatilisation
différentes réactions	• nucléaire • chimique

différents processus de transport	• inertie • convection laminaire et turbulente • diffusion • ondes • épuration • radiation • thermophorèse • gravité • pression • capillarité • mouvement brownien • différenciation • volatisation • évaporation • absorption • sublimation • aérosol • condensation • dépôt • percolation • électrostatique • osmose • flottation • suspension • dissolution • réaction chimique
intégrité structurale	• chaque barrière qui entoure le combustible

4.2.22 Vérification

Identifier le type et l'étendue de la vérification des méthodes de calcul.

4.2.23 Validation

Identifier le type et l'étendue de la validation des modèles mathématiques. Sans égard aux hypothèses conservatrices sur les paramètres, effectuer une validation des divers phénomènes physiques prédits par l'analyse de sûreté qui se produisent pour les différentes conditions, comme la température, la pression et la puissance. Valider les interactions entre les phénomènes dans l'intervalle applicable. Justifier le fondement de la mise à l'échelle des données expérimentales. (Les comparaisons de codes sont utiles mais ne constituent pas une validation adéquate. Fonder la validation sur l'expérience opérationnelle, les activités de mise en service ou les données et analyses expérimentales.)

4.2.24 Essais de mise en service

Identifier les essais de mise en service considérés[56] pour la vérification des résultats d'analyse. Identifier également d'autres essais qui pourraient être effectués à titre de vérification ultérieure.

4.2.25 Données

Identifier les hypothèses et données d'entrée et fournir une justification pour le choix des hypothèses initiales.

4.2.26 Résultats intermédiaires

Déterminer les valeurs transitoires des variables importantes[57] et le moment des événements clés[58].

4.2.27 Critères d'acceptation

L'analyse doit démontrer avec un haut niveau de confiance que :

- la dose et les limites de rejets ne dépassent pas les valeurs indiquées au tableau 4.8 au bout de 30 jours après l'événement déclencheur.
- les exigences réglementaires connexes[59] précisées au tableau 4.9 sont satisfaites.

Tableau 4.8 : Limites de doses et de rejets[60]

Exigence	Classe d'événements				
	1	2	3	4	5
dose effective (mSv)	0.5	5	30	100	250
cristallin (mSv)	5	50	300	1 000	1 500
peau (mSv, moyenne calculée sur 1 cm^2)	20	200	1 200	4 000	5 000
les émissions d'effluents liquides durant 30 jours respectent les limites d'émission annuelles dérivées pour l'exploitation normale	✓	✓	N	N	N

✓ — la limite doit être respectée par la pire séquence de défaillances de la classe d'événements

N — non requis

Tableau 4.9 : Exigences réglementaires connexes et critères d'acceptation dérivés

Exigence	Classe d'événements				
	1	2	3	4	5
pression du confinement inférieur à la pression de conception positive***	✓	✓	✓	✓	✓
pression du confinement supérieure à la pression de conception négative	✓	✓	✓	✓	✓
évitement des dommages ultérieurs aux systèmes du réacteur résultant de la défaillance de l'intégrité du confinement	✓	✓	✓	✓	✓
évitement des dommages ultérieurs à la structure du confinement	✓	✓	✓	✓	✓
évitement d'une explosion ou déflagration de l'hydrogène	✓	✓	✓	✓	✓
évitement des pertes d'intégrité du SRUC	✓	✓	✓	✓	✓
évitement des dommages aux systèmes d'arrêt d'urgence	↕	↕	↕	↕	↕

limite de niveau de service en créditant le premier système d'arrêt d'urgence qui déclenche*	B	C	C	D	D
limite de niveau de service en créditant seulement le deuxième système d'arrêt d'urgence qui déclenche*	C	D	D	D	D
limite de niveau de service pour les vannes qui doivent changer d'état	B	B	B	B	B
évitement d'une perte d'intégrité du circuit caloporteur primaire*	✓	✓	✓	✓	✓
évitement d'une perte d'intégrité de tout canal de combustible*	✓	✓	✓	✓	✓
configuration du canal de combustible pour l'évacuation de la chaleur résiduelle* †	✓	✓	✓	✓	✓
évitement d'une perte d'intégrité de toute gaine de combustible*	✓	✓	↕	↕	N
évitement des dommages au combustible après que le SRUC ait été rétabli comme source froide* †	✓	✓	✓	✓	✓
configuration du combustible pour l'évacuation de la chaleur résiduelle* †	✓	✓	✓	✓	✓
maintien du refroidissement de la piscine de combustible irradié (pas d'ébullition ou de mise à nu)	✓	✓	✓	✓	✓
maintien du combustible irradié à l'état sous-critique	✓	✓	✓	✓	✓
maintien du réacteur à l'état sous-critique après l'arrêt d'urgence	✓	✓	✓	✓	✓

* Dans le cas des événements où l'événement déclencheur se produit dans un seul canal de combustible, la tuyauterie de son dispositif d'alimentation, ou machines de chargement du combustible, ces exigences ne s'appliquent pas au canal ou au combustible qui y est associé.

† Dans le cas des événements qui comportent une défaillance du SRUC, cette exigence ne s'applique pas.

*** Dans le cas des événements où l'événement déclencheur est la défaillance d'une conduite dans les circuits d'eau d'alimentation du générateur de vapeur ou dans les circuits de vapeur, et qu'il n'y a pas de rejet de matière radioactives dans le confinement, cette exigence ne s'applique pas.

✓ Signifie que la limite est respectée.

‡ Signifie que l'étendue, la gravité et la durée du dépassement de la limite doivent être contrôlées par les systèmes d'atténuation.

N Non requis

B
C } Les limites des niveaux de service B, C et D sont définies dans les exigences générales de l'article III de l'*American Society of Mechanical Engineers Boiler and Pressure Vessel Code* (ASME Code).
D

Notes

1. L'état d'arrêt, certains systèmes continuent à fonctionner alors que d'autres sont hors service. Par conséquent, certains événements déclencheurs ne s'appliquent pas à l'état d'arrêt.

2. Le système de protection contre l'emballement des turbines est également un système d'atténuation, mais on reconnaît généralement à ce dernier une plus grande fiabilité qu'à ce genre de systèmes.

3. Pour que les paramètres de déclenchement soient considérés différents, ils ne doivent pas partager le même appareil de détection.

4. La protection contre les surpressions est un cas pour lequel des exigences moins rigoureuses sont spécifiées pour le deuxième système d'arrêt d'urgence qui se déclenche. Déterminer l'efficacité de chaque système d'arrêt d'urgence comme s'il agissait seul.

5. Par exemple :

    - On ne devrait pas supposer que le système de régulation du réacteur (SRR) complète le système d'arrêt d'urgence ou s'y ajoute, mais plutôt démontrer que le fonctionnement normal du SRR ne rend pas le système d'arrêt d'urgence inefficace.
    - Le fonctionnement partiel ou incomplet d'un système d'arrêt d'urgence (y compris de toute soupape de sûreté de vapeur qui y est raccordée) ne devrait pas rendre l'autre système d'arrêt d'urgence inefficace.

6. Par exemple, analyser les défaillances du système de contrôle de l'inventaire du caloporteur primaire et démontrer que l'exploitation normale du contrôle de l'inventaire du caloporteur primaire ne rend pas le SRUC inefficace.

7. On s'attend à ce que la combinaison d'une défaillance simple et d'une marge pour la variance à un niveau de confiance pratique (p. ex. 95 %) maintiendra la fiabilité de l'analyse à un niveau supérieur à la fiabilité du système.

8. Un exemple d'une analyse pour laquelle certains états transitoires de centrale ont été acceptés comme étant des variables aléatoires (p. ex. irrégularité de la puissance imputable au rechargement du combustible et dérive d'un détecteur) est le déclenchement sur surpuissance locale ou neutronique pour les pertes de contrôle lentes de la puissance du réacteur.

9. Prévoir une tolérance d'erreur d'instrument dans une proportion d'environ 95 % dans l'intervalle de confiance de 95 %

10. Prévoir des limites admissibles des écarts dûs à la méthode de calcul à un niveau de confiance de 95% environ plutôt qu'à la valeur moyenne.

11. Par exemple, supposer une quantité minimale d'eau dans le réservoir d'arrosage n'est pas une hypothèse conservatrice dans l'évaluation des effets de mode commun découlant d'une inondation.

12. Considérer la température à l'intérieur des limites des paramètres d'exploitation, les irrégularités du rechargement du combustible et la dérive des instruments comme des erreurs systématiques et non comme des variables aléatoires (c.-à-d., lorsque la centrale est mise dans un certain état, la probabilité de cet état est « un » et la classification de l'événement est déterminée par la probabilité que l'événement survienne). Par exemple, ne pas placer une séquence de défaillances consistant en un événement déclencheur qui survient durant les manoeuvres d'arrêt dans une classe d'événements supérieure à cause de la basse fréquence d'occurrence de l'état d'arrêt.

13. Par exemple, une défaillance partielle qui maximise la température du combustible et du tube de force à court terme lorsque la pression est élevée peut causer davantage de contact entre le tube de force et le tube de calandre. À long terme, cette situation peut abaisser la température du combustible et des tubes de force lorsque la pression est basse et, par conséquent, le rejet de produits de fission pourrait diminuer si l'on perd le refroidissement à long terme.

14. L'endroit et l'orientation de la rupture sont importants pour déterminer les effets de mode commun du fouettement et de la force du jet.

15. L'interprétation acceptable de l'incertitude correspond à toute proportion élevée (p. ex. 90 % du temps ou le 95 centile à un niveau de confiance de 95 %).

16. Certains modes de défaillance de faible probabilité, comme des portes de sas ouvertes ou une perte du bâtiment sous vide sont analysés, mais une limite de doses ou de rejet n'est pas attribuée aux séquences de défaillances qui les incluent.

17. Les exigences relatives aux analyses de sûreté pour les accidents à très basse probabilité ne font pas l'objet du présent document.

18. *Exigences pour la protection contre la surpression dans le circuit caloporteur primaire des réacteurs de puissance CANDU munis de deux systèmes d'arrêt d'urgence*, document de réglementation R-77.

19. Si un entretien est requis pour satisfaire le temps de mission crédité, inclure une évaluation pour indiquer que les systèmes de sûreté peuvent être entretenus pour éviter les pertes de fonction à long terme; autrement, analyser la défaillance éventuelle du système.

20. L'expression « conçus pour la fonction prévue » tient compte des effets du vieillissement.

21. L'expression « qualifiés pour résister à tous les effets de mode commun » comprend la qualification environnementale, la qualification sismique et la qualification aux effets dynamiques résultant de ruptures de tuyauterie.

22. Par exemple, le déclenchement du SRUC sur basse pression peut être empêché lors d'une petite perte de fluide caloporteur primaire si le contrôle de la pression n'est pas qualifié et fait défaut avec une valeur haute, ce qui empêcherait la pression de chuter jusqu'au point de consigne basse pression.

23. « Norme de rendement minimal admissible » désigne l'ensemble des limites d'exploitation ou des différentes conditions établies pour les composants ou sous-systèmes, qui prévoient les états minimaux acceptables des composants ou sous-systèmes dans les analyses de sûreté.

24. Cependant, prolonger les calculs de dose au-delà de 30 jours pour inclure la dose engagée résultant des rejets radiologiques qui se sont produits au cours des 30 premiers jours.

25. Cela comprend la puissance du réacteur et la composition isotopique du combustible, le caloporteur, le modérateur, les dispositifs de réactivité et les détecteurs.

26. Voici des exemples d'hypothèses : caractéristiques de chute des barres d'arrêt, croissance du rideau de poison, délai des instruments, caractéristiques de la réponse des détecteurs.

27. Cela comprend les effets de tous les déplacements du combustible, le caloporteur, le modérateur et les mécanismes de réactivité; les changements de température et de densité et les réactions nucléaires.

28. Même si la principale source de chaleur dans la centrale est nucléaire, l'énergie provenant de la chaleur emmagasinée ainsi que l'énergie électrique et l'énergie chimique peuvent être importantes.

29. Tenir compte des changements possibles de la source froide pendant l'événement.

30. Les charges peuvent être nucléaires, chimiques, thermiques, mécaniques, électriques et gravitationnelles.

31. Les effets nucléaires, thermo-mécaniques et chimiques peuvent modifier les propriétés matérielles, thermiques, élastiques, extensibles et la résistance à la rupture de chaque soudure, zone affectée thermiquement ou enveloppe.

32. Cela comprend la forme physique ou la phase de chaque groupe de matières radioactives.

33. Prendre en considération les réactions chimiques et les changements de phases.

34. Inclure dans le rejet le nombre de défaillances du combustible et le moment où elles se produisent.

35. Ne pas dépasser un rejet de 10^2 TBq de ^{137}Cs. (Centre finlandais des rayonnements et de la sûreté nucléaire, décision du Conseil d'état sur le règlement général sur la sûreté des centrales nucléaires (395/91), le 14 février 1991; Bureau d'inspection des centrales nucléaires du RU,

Safety Assessment Principles for Nuclear Plants, 1992).

36. Le calcul devrait tenir compte des activités d'intervention nécessaires après un accident. Ne pas dépasser les limites de doses annuelles en ce qui a trait à l'exposition professionnelle tel que précisé dans la réglementation. Utiliser les facteurs de conversion de dose de la publication CIPR 68.

37. La durée du rejet est de 30 jours ou moins.

38. Une méthode de calcul des doses est décrite dans la publication du Bureau de la radioprotection de Santé Canada, 1998, intitulée : *Recommendations on Dose Coefficients for Assessing Doses from Accidental Radionuclides Releases to the Environment*, CIPR 72 et CAN/CSA–N288.2–M91. Inclure également les doses imputables à la remise en suspension des radionucléides déposés.

39. Une méthode de calcul des doses est décrite dans la publication 72 de la CIPR et dans la norme CAN/CSA–N288.1–M87. Inclure également les doses imputables à la remise en suspension des radionucléides déposés.

40. La dose annuelle peut indiquer l'intervention à long terme requise hors du site pour une séquence de défaillances, mais aucune limite d'analyse de sûreté ne s'applique à ce calcul.

41. La dose collective peut indiquer l'importance de l'intervention requise hors du site pour une séquence de défaillances, mais aucune limite d'analyse de sûreté ne s'applique à ce calcul.

42. Pour démontrer que les limites de doses et de rejets du tableau 4.8 sont respectées, il peut être nécessaire de définir des limites plus conservatrices comme une température de gaine de combustible maximale.

43. Les intervalles de confiance et les incertitudes sur les simulations sont plus grandes aux limites d'applicabilité ou au domaine des données expérimentales.

44. Le tableau 4.9 comprend un résumé des exigences réglementaires connexes, généralisées pour les cinq classes d'événements.

45. Les exigences relatives à l'analyse du confinement comprennent : l'intégrité structurale, les conditions environnementales, la disponibilité, la concentration de l'hydrogène, la séparation et l'indépendance, le blindage, l'instrumentation, l'entretien et les exigences relatives aux procédures d'exploitation.

46. CCEA, *Les normes des systèmes de confinement des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-7.

47. Les exigences de l'analyse des systèmes d'arrêt d'urgence comprennent :

- l'intégrité du circuit caloporteur primaire
- l'intégrité du combustible
- les conditions environnementales
- la disponibilité, la séparation et l'indépendance
- l'instrumentation
- les exigences relatives à l'entretien et aux procédures d'exploitation.

Par exemple : une perte d'intégrité du circuit caloporteur primaire ne devrait pas résulter d'une surpression ni de tout autre mécanisme de défaillance du combustible, comme les températures excessives du combustible ou les bris du combustible; chaque système d'arrêt d'urgence devrait assurer que le combustible dans le réacteur ne connaisse pas de défaillance suite à une défaillance des systèmes de contrôle du réacteur.

48. CCEA, *Les normes des systèmes d'arrêt d'urgence des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-8.

49. La démonstration de la présence d'au moins deux paramètres de déclenchement efficaces et différents pour chaque système d'arrêt d'urgence pour tous les états de centrale pendant l'exploitation normale revêt une importance particulière.

50. Les exigences de l'analyse pour le SRUC visent :

- l'intégrité des canaux de combustible
- l'intégrité du combustible, le combustible et la configuration des canaux de combustible
- à éviter que des dommages ultérieurs soient causés au combustible
- les conditions environnementales
- la disponibilité
- la séparation et l'indépendance
- le fonctionnement par inadvertance
- le blindage
- l'instrumentation
- les exigences en matière d'entretien et de procédures d'exploitation.

Par exemple, le SRUC sera en mesure de maintenir l'intégrité des canaux de combustible à la suite d'une défaillance de toute tuyauterie ou collecteur du circuit caloporteur primaire. Il n'y aura pas de défaillance du combustible dans le réacteur à cause de l'absence de refroidissement adéquat par suite d'une défaillance de toute conduite d'alimentation du

circuit caloporteur primaire (sauf dans le canal associé à la défaillance de la conduite d'alimentation).

51. CCEA, *Les normes des systèmes de refroidissement d'urgence du coeur des centrales nucléaires CANDU*, document de réglementation R-9.

52. Voici des exemples d'études de sensibilité :

- L'expression « pires conditions météorologiques » ou « conditions météorologiques conservatrices » désigne un scénario météorologique pour lequel la dose résultante (concentration intégrée dans le temps) sera pas dépassée au plus dans 10 % des cas. La même séquence de défaillances devrait faire l'objet d'une autre analyse selon un scénario météorologique pour lequel la dose résultante sera pas dépassée au plus dans 1 % des cas et pour lequel les limites de dose pour la classe supérieure suivante d'événements ne seront pas dépassées.
- Si la probabilité d'une défaillance d'un élément de combustible, pour l'ensemble du coeur, attribuable à un événement de classe 2 est inférieure à 10 % et si la probabilité pour que le nombre d'éléments de combustible défaillants dépasse 50 000 est inférieure à 1 %, on peut supposer de manière conservatrice qu'il n'y a pas de défaillance de combustible. Par contre, il faudrait analyser de nouveau la séquence de défaillances en posant comme hypothèse la défaillance de 50 000 éléments de combustible et prouver qu'il n'y a pas dépassement des limites de dose prévues pour un événement de classe 3;
- Une probabilité de 90 % qu'il n'y ait pas d'assèchement de la gaine du combustible est acceptable pour le premier paramètre de déclenchement de haute qualité des événements de classe 2, mais cette probabilité devrait être de 99 % pour les événements de classe 1;
- Il faudrait tenir compte de l'incertitude sur l'état le plus défavorable de la centrale avec une probabilité de 90 %. Cette incertitude comprend l'incertitude du modèle mathématique et des méthodes de calcul, ainsi que l'incertitude sur la limite des paramètres d'exploitation et de sa tolérance, notamment l'incertitude liée aux instruments, à l'étalonnage et à la probabilité d'une défaillance des systèmes reliés à la sûreté (comme les procédures d'exploitation) qui assurent que l'état de la centrale se trouve à l'intérieur de l'enveloppe d'exploitation. En guise d'exemple, il faudrait refaire une analyse conservatrice avec ces incertitudes en supposant un taux de probabilité de 99 % et prouver qu'il n'y a pas dépassement des limites de doses pour la classe supérieure suivante d'événements.

53. La « tolérance des paramètres » est la différence entre la valeur de consigne nominale ou la valeur nominale du paramètre(paramètre du processus), et la valeur à laquelle le système est considéré comme ayant connu une défaillance. (La limite de défaillance devrait avoir une marge de sûreté aussi importante que possible par rapport à la limite de sûreté.)

54. Dans le cas des centrales à l'étape de la conception pour lesquelles aucune procédure d'exploitation n'existe, préciser des procédures d'exploitation pour les interventions de l'opérateur créditées.

55. Les hypothèses qui résultent d'une prévision conservatrice pour une analyse peuvent donner lieu à des résultats non prudents pour une autre. Par exemple, l'utilisation d'un modèle de décharge du bris qui prévoit plus d'énergie et de débit de masse que ce à quoi on s'attend en réalité serait conservatrice pour l'analyse de la déformation de la gaine de combustible et pour l'intégrité du confinement mais pas pour le colmatage du confinement ou pour la remise en cause de l'intégrité du canal du combustible. De même, une corrélation qui sous estimerait le flux thermique critique peut être conservatrice pour les températures du combustible et des canaux mais pas pour les phénomènes transitoires d'ébullition comme la surpression et la réactivité du vide.

56. Recourir à des essais de mise en service pour vérifier les résultats de l'analyse dans la mesure du possible sans compromettre la sûreté du réacteur.

57. Les variables importantes peuvent comprendre :

- réactivité
- pression, température et inventaire du combustible, pressions, températures et inventaire à l'intérieur des divers composants sous pression et à l'intérieur du confinement
- débits du caloporteur et comportement des pompes
- rejet et distribution des matières radioactives.

58. Les événements clés peuvent comprendre :

- déclenchement du réacteur
- déclenchement du SRUC
- isolation de l'enceinte de confinement
- déclenchement d'une pompe
- interventions de l'opérateur
- assèchement du combustible
- défaillance du combustible
- fluage diamétral des tubes de force.

59. La majorité des exigences réglementaires connexes figurent dans les documents de réglementation R–7, R–8, R–9 et R–77.

60. Seules les limites de doses individuelles et de rejets associées aux séquences individuelles sont spécifiées dans ce guide. Les limites de dose collective ne sont pas spécifiées parce que les limites de dose individuelles :

    - portent la dose effective pour un individu hypothétique le plus exposé du groupe critique pour les événements en question (autres que la défaillance de certains composants passifs et les combinaisons d'événements) à une fraction de la limite de dose annuelle, en supposant que la période de récurrence de tels événements est maintenue à plus d'un an, par des mesures correctrices si nécessaire.
    - limitent la dose à vie reçue par n'importe quel individu du public et imputable à un événement grave comportant une défaillance de certains composants passifs ou comportant des combinaisons d'événements (y compris les défaillances des systèmes spéciaux de sûreté) à une augmentation acceptable dans la dose à vie.
    - préviennent tout effet déterministe, évitant ainsi le préjudice collectif et la spécification difficile et controversée d'un préjudice collectif imputable à des expositions plus graves.

5. Étude probabiliste de sûreté

La présente partie comprend de l'information générale concernant l'utilisation de l'étude probabiliste de sûreté (ÉPS) dans l'analyse de sûreté.

5.1 Portée

Présenter à la CCEA une évaluation probabiliste de sûreté pleine envergure de niveau II[1] (c.-à-d. une évaluation des dommages causés au coeur et des dommages causés au confinement pour tous les états de centrale) après avoir finalisé la conception et les procédures d'exploitation. Pendant la phase opérationnelle, garder l'ÉPS à jour. Présenter les mises à jour selon un échéancier convenu.

Réaliser l'ÉPS et la documenter conformément aux bonnes pratiques reconnues sur le plan international.

5.2 Utilisation de l'ÉPS dans l'analyse

De concert avec l'analyse de sûreté, l'analyste examine l'ÉPS afin :

- de confirmer que la liste des séquences de défaillances déterminées lors de la revue systématique de la centrale est complète, pour les classes d'événements 1 à 5;
- d'aider à confirmer que la classification des événements et les hypothèses de fiabilité connexes soient conservatrices;
- de relever les séquences de défaillances qui dominent la fréquence cumulative des événements graves et des défaillances graves de systèmes de procédé;
- de démontrer que la fréquence cumulative de défaillances graves de systèmes de procédé est inférieure à l'objectif fixé[2];
- d'identifier les séquences de défaillances où le modérateur est utilisé comme source froide pour plusieurs canaux de combustible pour maintenir leur intégrité;
- de calculer la fréquence totale de la demande[3] imposée au modérateur lorsque le modérateur est utilisé comme source froide pour plusieurs canaux de combustible pour maintenir leur intégrité;
- d'identifier les faiblesses relatives de la centrale;
- d'identifier les défaillances qui dominent la non-fiabilité de chacun des systèmes de sûreté;
- de calculer la fiabilité[4] de chaque système d'atténuation[5];

- identifier les hypothèses conservatrices et les simplifications utilisées dans l'ÉPS et évaluer leurs effets sur les résultats[6];
- d'identifier tout composant relié à la sûreté dont l'importance n'est pas apparente en raison de telles hypothèses.

Notes

1. Dans une ÉPS, on recueille des données sur les défaillances des composants et sur les événements externes; de plus, un schéma logique et les arbres de défaillance des systèmes sont analysés pour déterminer la probabilité de :

    - dépasser certains états d'endommagement de la centrale
    - niveaux de rejet (comme ceux qui correspondent aux doses reçues par les individus ou qui portent préjudice à l'environnement)
    - niveaux de préjudice collectif (lorsque les doses aux individus résultent d'effets déterministes).

    L'ÉPS doit inclure le poste de sectionnement en plus de la centrale à cause des dépendances.

2. La spécification des objectifs ne fait pas l'objet du présent document. La fréquence de une par trois ans a été retenue par D. G. Hurst et F. C. Boyd, *Reactor Licensing and Safety Requirements*, CCEA–1059, juin 1972.

3. La demande totale du circuit du modérateur pour plusieurs canaux devrait être inférieure à 10^{-4} par an.

4. Avant de finaliser la conception et les procédures d'exploitation, le concepteur peut utiliser une ÉPS préliminaire pour établir les exigences en matière de fiabilité et les limites opérationnelles.

5. La disponibilité et la fiabilité des systèmes spéciaux de sûreté (y compris leurs systèmes de support) et les sources froides revêtent une importance particulière. Parmi les autres facteurs importants, mentionnons notamment la probabilité de défaillance des tubes de force imputable à la fissuration par hydruration et les probabilités de défaillance des tubes du générateur de vapeur, d'assèchement du combustible pendant une surpuissance, de rupture d'un ou de plusieurs canaux de combustibles et de défaillance du confinement.

6. Les données et hypothèses de l'ÉPS devraient être basées sur des données réalistes plutôt que conservatrices

Glossaire

Les définitions qui suivent s'appliquent à des termes employés dans le présent document. Des définitions additionnelles figurent dans les documents de réglementation R-7, R-8 et R-9.

Cause commune - Situation où des effets multiples sur les systèmes, les composants, les structures ou les procédures ont une même cause. (*Common Cause*)

Composant qualifié - Composant dont la capacité de supporter les effets d'un événement est telle qu'il satisfait aux critères de sûreté. (*Qualified Component*)

Défaillance - Modification des caractéristiques d'un système, d'un composant, d'une structure ou d'une procédure qui rend impossible l'exécution des fonctions minimales prévues ou qui donne lieu à une fonction inattendue. Il peut y avoir une perte partielle ou totale de fonction, qui peut être latente, coïncidente, prolongée sur 30 jours, retardée, temporaire ou intermittente. On entend par défaillance latente une défaillance préalable (erreur dans la logique de commande, les essais, l'exploitation ou l'entretien) et une défaillance lors du redémarrage. Une défaillance coïncidente est une défaillance attribuable, par ex., à l'inaction de l'opérateur. Une défaillance de la mission est traitée explicitement comme une combinaison d'événements survenant au cours d'une période de 30 jours. (*Failure*)

Défaillance grave de système de procédé - Défaillance d'un système relié à la sûreté qui, en l'absence de tous les systèmes spéciaux de sûreté, entraînerait une défaillance systématique de combustible ou un rejet important de matières radioactives hors de la centrale nucléaire. On entend par défaillance systématique de combustible une défaillance du combustible à la suite de l'événement, sans que le combustible ait présenté de défaut préalable. Un rejet important entraînerait des doses égales aux limites dérivées de rejet. (*Serious Process Failure*)

Dépendance - État d'une chose qui se réalise en corrélation avec une autre ou qui est conditionnelle à une autre. (*Dependency*)

Effets de mode commun - Effets du fonctionnement ou de la défaillance d'un système, d'un composant, d'une structure ou d'une procédure sur d'autres systèmes, composants, structures ou procédures. Ils peuvent être attribuables à un événement déclencheur, à une combinaison d'événements ou à une cause commune, ou être la conséquence inattendue de l'exploitation normale. (*Cross-link Effect*)

Estimation conservatrice - Modèle mathématique ou méthode de calcul qui est biaisé de manière à engendrer des conséquences plus graves au chapitre d'une exigence particulière. (*Conservative Estimate*)

État de centrale - Configuration des composants d'une centrale. (*Plant State*)

État d'arrêt sécuritaire - État stabilisé à long terme dans lequel :

a) le réacteur est maintenu en état sous-critique avec une marge de sécurité;

b) la température de la centrale nucléaire est ramenée à un niveau stationnaire d'état d'arrêt;

c) la chaleur produite dans la centrale nucléaire est transférée à une source froide efficace et à long terme de telle sorte que les limites techniques de conception, les exigences de conception et les exigences réglementaires des systèmes d'atténuation en cause ne sont pas dépassées;

d) le débit de relâche de matières radioactives hors du site de la centrale nucléaire est contrôlé, les émissions annuelles des effluents liquides ne dépassent pas un dixième des limites annuelles de rejet dérivées pour l'exploitation normale, et les doses hebdomadaires reçues par le membre le plus exposé du groupe critique sur le site ou à l'extérieur du site sont inférieures à deux microsieverts (μSv).

e) l'opérateur est en mesure de faire le suivi des paramètres de la centrale nucléaire et d'agir conformément aux procédures d'exploitation. (*Safe Shutdown State*)

Événement grave - Événement plausible qui, en l'absence de toutes les caractéristiques d'atténuation, engendrerait une défaillance systématique du combustible ou un rejet important de matières radioactives hors de la centrale. On entend par défaillance systématique de combustible une défaillance du combustible à la suite de l'événement, sans que le combustible ait présenté de défaut préalable. Un rejet important entraînerait des doses égales aux limites dérivées de rejet. (*Event of Concern*)

Exploitation normale - Tout état planifié d'une centrale nucléaire consécutif à des procédures normales d'exploitation préalablement approuvées. Cela comprend tout arrêt, toute exploitation en puissance (démarrage, variation de puissance, état stationnaire, mode d'ajustement de la réactivité et suivi de charge) et les états initial, intermédiaire et fin de vie au cours desquels il peut y avoir rechargement du combustible, étalonnage, mise à l'essai, entretien et inspection. *(Normal Operation)*

Insertion de réactivité négative - Réduction de la réactivité. (*Negative Reactivity Insertion*)

Créditer (ou considérer) - Reconnaître que quelque chose (p. ex. système d'atténuation) est responsable d,un certain effet (p. ex. événement d'atténuation). (*Crediting*)

Estimation réaliste - Modèle mathématique ou méthode de calcul non biaisé. (*Best Estimate*)

Paramètre de déclenchement - Paramètre qui, lorsqu'un certain niveau est atteint, active un système d'atténuation (également appelé « seuil de déclenchement »). (*Actuation Parameter*)

Perte de fluide caloporteur primaire du réacteur - (*Loss of Reactor Primary Coolant*)

Une *très petite perte de fluide caloporteur primaire* correspond à un débit de fuite pouvant atteindre le débit maximal d'une seule pompe d'eau d'appoint du circuit primaire. (*Very Small Loss of Reactor Primary Coolant*)

Une *petite perte de fluide caloporteur primaire* correspond à un débit de fuite qui dépasse celui d'une très petite perte de fluide caloporteur primaire et qui pourrait résulter d'une rupture guillotine double de la plus grosse conduite d'alimentation de canal de combustible. (*Small Loss of Reactor Primary Coolant*)

Une *grosse perte de fluide caloporteur primaire* correspond à un débit de fuite qui dépasse celui d'une petite perte de fluide caloporteur primaire et qui pourrait résulter d'une rupture guillotine double ou d'une rupture longitudinale du plus gros tuyau ou collecteur. (*Large Loss of Reactor Primary Coolant*)

Pire état de centrale - État de centrale menant aux conséquences les plus graves au chapitre d'une exigence particulière. (*Worst Plant State*)

Procédures d'exploitation - Procédures et données écrites qui définissent les méthodes, les moyens et les limites opérationnelles des systèmes, des composants et des structures pour l'exploitation normale (comprend les procédures de mise à l'essai et d'entretien) et lors d'occurrences prévues ou d'événements graves (procédures d'exploitation sur incidents). *(Operating Procedures)*

Système relié à la sûreté - Système, composant, structure ou procédure (interventions de l'opérateur) et systèmes de soutien (y compris les systèmes spéciaux de sûreté et leurs systèmes de soutien) associés au déclenchement, à la détection ou à l'atténuation d'une séquence de défaillances pouvant entraîner un événement grave. On trouve au nombre des systèmes de soutien l'air d'instrumentation, l'alimentation électrique, l'eau de refroidissement, le combustible, les lubrifiants, les gaz et les instruments d'essai et d'étalonnage. (*Safety-related Item*)

Seuil - Voir « paramètre de déclenchement ». (*Set Point*)

Système d'atténuation - Sous-ensemble de systèmes reliés à la sûreté associés à la détection ou à l'atténuation des séquences de défaillances. On compte au nombre des systèmes d'atténuation les systèmes spéciaux de sûreté, les systèmes d'urgence en attente, les systèmes de procédé d'atténuation, les systèmes de procédé qui ne changent pas d'état pour atténuer les conséquences d'un événement, et certains composants, structures et procédures passives. (*Mitigating Provisions*)

Un *système de procédé d'atténuation* désigne un système de procédé dont l'état doit changer pour atténuer les conséquences d'un événement, qui doit augmenter sa capacité ou sa vitesse pour atténuer les conséquences d'un événement. (*Mitigating Process System*)

Un *système d'urgence en attente* désigne un système d'urgence soumis à une vérification régulière autre que les systèmes spéciaux de sûreté. (*Standby Emergency System*)

Système spécial de sûreté - Désigne l'un des systèmes suivants : le système d'arrêt d'urgence, le système de refroidissement d'urgence du coeur (SRUC) et le système de confinement. (*Special Safety System*)

Annexe A : Technique probabiliste de classification des événements

Suivre les lignes directrices de la présente annexe si la technique probabiliste de classification des événements est choisie comme solution de rechange[1] au schéma de classification décrit dans le présent guide. Ne pas confondre ces lignes directrices avec l'ÉPS décrite à la partie 5.

A.1 Données relatives aux défaillances

Déterminer les données relatives aux défaillances en effectuant les tâches suivantes :

- Déterminer la probabilité de défaillance et les données de dépendance pour les systèmes reliés à la sûreté et leurs limites supérieures de confiance de 95 %.
- Déterminer les modes de défaillance, le nombre de défaillances, la durée en service, le temps d'indisponibilité et la durée des réparations.
- Déterminer le crédit pour les activités d'entretien, les activités de surveillance (vérification des panneaux, vérifications courantes, essais, inspections), état, service et configuration des pièces, et le temps de réparation.
- Dériver les données statistiques sur la défaillance des pièces dans une population particulière.
- Identifier et justifier la population.
- Justifier l'utilisation de tout modèle, comme un modèle exponentiel ou un modèle de Weibull.

A.2 Vieillissement

Utiliser les probabilités de défaillance qui correspondent à la pire condition tolérable des composants pendant la durée de vie de la centrale. Ne pas établir la moyenne des probabilités pendant la durée de vie de la centrale ou comparer les centrales qui ont connu une bonne performance dans les pires conditions tolérables et les centrales qui ont connu une meilleure performance. Utiliser les données d'une centrale en particulier seulement si cette dernière est en phase d'exploitation et a une stratégies d'inspection et des critères d'aptitude au service acceptés.

A.3 Données relatives à l'état de la centrale

Déterminer les données relatives à l'état de la centrale en effectuant les tâches suivantes :

- Déterminer les données relatives à l'état de la centrale.

- Consigner les données pour une période suffisamment longue afin d'inclure les événements qui se produisent pendant la durée de vie de la centrale à la probabilité requise.

Les probabilités des états de centrale sont pris avec un intervalle supérieur de confiance de 95 %.

A.4 Surveillance, inspection et essais

Vérifier les défaillances, les probabilités des états de centrale et leurs intervalles de confiance dans le cadre d'un programme de surveillance en service, d'inspection et d'essai tout en respectant les exigences de la CCEA.

A.5 Intervalles de probabilité des classes d'événements

L'intervalle de probabilité pour chaque classe d'événements figure au tableau A.1.

A.6 Probabilité des événements

Classer chaque événement déclencheur et combinaison d'événements se produisant à l'intérieur d'une période de 30 jours, en fonction de leur probabilité moyenne annuelle à la limite supérieure de confiance de 95 %.

La probabilité annuelle est la somme de toutes les défaillances résultant d'une même perte de capacité fonctionnelle de système ou d'un fonctionnement non souhaitable du système, par opposition à la subdivision des événements par réponse de centrale[2]. La probabilité peut également inclure la probabilité de l'état de centrale et la probabilité associée à la capacité du système d'atténuation, mais pas à la probabilité d'un scénario météorologique.

A.7 Subdivision des événements

Un événement peut être subdivisé afin de classer une défaillance particulière suivie d'une réponse de centrale différente dans une classe d'événements supérieure (jusqu'à la classe 5 au maximum) si la probabilité de la défaillance est basse, comparativement à d'autres événements qui causent les mêmes pertes de fonctions ou les mêmes fonctions non souhaitables, et si la défaillance est traitée spécifiquement au niveau de la conception, la fabrication, l'installation, l'exploitation, les essais effectués et l'entretien d'une manière acceptable par la CCEA.

A.8 Probabilité des événements de cause commune

Définir les événements de cause commune (événements simples ou combinaison d'événements de cause commune se produisant dans une période de 30 jours) appropriés pour chaque classe d'événements. Classer chaque événement ou combinaison d'événements selon leur probabilité annuelle moyenne à la limite supérieure de confiance de 95 %. La probabilité annuelle peut également inclure la probabilité de l'état de centrale et la probabilité liée à la capacité du système d'atténuation, mais pas la probabilité d'un scénario météorologique[3].

A.9 Capacité du système d'atténuation

Pour chaque événement, définir les combinaisons d'événements accompagnées d'une diminution du rendement du système d'atténuation à l'intérieur d'une période de 30 jours qui sont appropriées pour chacune des classes d'événements supérieures. La capacité fonctionnelle maximale appropriée des systèmes d'atténuation correspond à la probabilité la plus basse de l'intervalle (indiquée au tableau A.1) pour la classe d'événements dans laquelle la combinaison est analysée. Utiliser la probabilité annuelle moyenne de la combinaison d'événements à la limite supérieure de confiance de 95 %.

Considérer chaque système d'atténuation ou composant de ce système à l'aide :

- de sa fiabilité opérationnelle si le système ou le composant continue à fonctionner dans des conditions semblables à celles qui existaient avant l'événement déclencheur;
- des objectifs de disponibilité et de fiabilité, qui doivent être vérifiées par des essais en cours d'exploitation si le système ou le composant doit démarrer, changer d'état ou changer de plage ou de vitesse de réponse pour atténuer les conséquences d'une séquence de défaillances.

A.10 État de centrale

Pour chaque événement, définir les combinaisons qui conviennent à chacune des classes d'événements supérieures correspondant aux états de centrale accompagnés de conséquences plus sévères. Inclure les états de centrale admissibles et au-delà des limites admissibles qui se sont produits ou qui pourraient se produire. La combinaison d'événements appropriée et l'état de centrale correspondent à la probabilité la plus basse de l'intervalle de la classe d'événements (indiquée au tableau A.1) dans laquelle la combinaison est analysée. Utiliser la probabilité annuelle moyenne de combinaison à la limite supérieure de confiance de 95 %.

Ne pas créditer la probabilité des états de centrale admissibles à moins que les exigences minimales suivantes soient respectées de manière acceptable par la CCEA :

- la variable « centrale » est surveillée;
- la variable « centrale » est contrôlée de manière à se situer dans une moyenne et un écart-type uniques;
- les procédures d'exploitation déterminent les variables contrôlées, leurs limtes de puissance et de durée, ainsi que les niveaux d'alarme ou les intervalles d'essai.

A.11 États transitoires de centrale

Classer les combinaisons d'événements accompagnées d'un état transitoire de centrale qui résulte d'une intervention délibérée de l'opérateur en vue de changer la valeur moyenne d'une variable de la centrale et les états de centrale qui sont obligatoirement rencontrés (comme le démarrage, le chargement du combustible et l'arrêt d'urgence) par leur probabilité seulement si des données de dépendances sont disponibles et considérées. Tenir compte de la probabilité des états de centrale ayant des moyennes variables différentes si la fréquence et la durée de la moyenne sont limitées[4] par les procédures d'exploitation. Si la probabilité moyenne à la limite supérieure de confiance de 95 % d'une telle combinaison est inférieure à la limite inférieure de la classe d'événements 5, analyser la combinaison ou montrer qu'elle sera limitée par un événement plus limitatif (aucune limite de dose ne s'applique).

A.12 Tolérance des instruments

Inclure les limites admissibles de tolérance des instruments dans les états de centrale. Ces tolérances sont généralement évaluées à une proportion de 95 % avec une limite de confiance de 95 %. Il peut être impossible de définir les combinaisons d'événements avec des proportions plus élevées de tolérance des instruments dans les classes d'événements supérieures. Dans ces situations, proposer des combinaisons de remplacement pour chacune des classes d'événements supérieures. Les substituts à utiliser pour la tolérance des instruments à une limite de confiance plus élevée comprennent un deuxième paramètre de déclenchement différent du système d'atténuation, la détérioration de la capacité fonctionnelle du système d'atténuation et le mauvais étalonnage des instruments.

A.13 Gamme d'états de centrale

Une gamme d'états de centrale peut être définie pour laquelle aucune considération n'est faite concernant leur probabilité. Cependant, si les conséquences sont plus graves à l'extérieur de ce domaine, tenir compte d'une tolérance sur la limite de ce domaine.

A.14 Scénarios météorologiques

Pour chaque événement, définir des combinaisons d'événements et des scénarios météorologiques de 30 jours avec des probabilités qui sont appropriées à chaque classe d'événements supérieure. La probabilité de la combinaison de l'événement et du scénario météorologique est le dixième de la probabilité la plus faible de l'intervalle (voir tableau A.1) de la classe d'événements dans laquelle la combinaison est analysée. Utiliser la probabilité annuelle moyenne de la combinaison d'événements à la limite de confiance supérieure de 95 %.

A.15 Dépendances

Identifier et tenir compte des dépendances entre l'état de centrale, les erreurs des instruments, les méthodes de calcul, les scénarios météorologiques, les événements déclencheurs, les combinaisons d'événements, les séquences d'événements et les défaillances des systèmes reliés à la sûreté, y compris les erreurs de l'opérateur. Utiliser la dépendance à la limite supérieure de l'intervalle de confiance de 95 %

A.16 Effets de mode commun

Pour chaque événement ayant des effets de mode commun qui sont fonction de la probabilité, définir les combinaisons d'événements qui ont des effets de mode commun accrus sur le rendement du système d'atténuation. La capacité fonctionnelle appropriée maximale des systèmes d'atténuation correspond à la probabilité la plus faible de l'intervalle (voir tableau A.1) pour la classe d'événements dans laquelle la combinaison est analysée. Utiliser la probabilité annuelle moyenne de la combinaison d'événements à la limite de confiance supérieure de 95 %[5].

A.17 Limitation des défaillances de cause commune

Indiquer la limite des défaillances de cause commune dans la probabilité de défaillance créditée des systèmes qui utilise des procédures ou composants redondants ou identiques. Laisser transparaître la complexité, la nouveauté, la diversité, la distinction, l'indépendance et l'essai des systèmes.

A.18 Méthodes de calcul

Tenir compte d'erreurs systématiques dans les méthodes de calcul avec des limites élevées de confiance (95 %). Dans les classes d'événements supérieures, évaluer l'analyse de sensibilité, la diminution de la capacité fonctionnelle du système d'atténuation, un deuxième paramètre de déclenchement différent du système d'atténuation, et des états de centrale plus défavorables comme substituts aux tolérances de calcul de confiance plus élevée.

A.19 Normes

Utiliser des normes reconnues sur le plan international, telles qu'acceptées par la CCEA. Suivre les règles suivantes :

- les modèles de fiabilité de l'intervention humaine reflètent la complexité des tâches et les facteurs pertinents, comme les conditions environnementales et le niveau de stress
- évaluer les effets des incertitudes relatives aux données et hypothèses dans la modélisation du résultat global
- évaluer l'effet des combinaisons de facteurs comme étant fonction de la probabilité
- la conception de référence de la centrale nucléaire et les procédures d'exploitation (configuration) sont fidèles à la conception et aux procédures suivies dans l'analyse déterministe.

Tableau A.1 : Intervalles de probabilité des classes d'événements

Classes d'événements	Probabilité annuelle des événements
1	plus de 10^{-2}
2	de 10^{-2} à 10^{-3}
3	de 10^{-3} à 10^{-4}
4	de 10^{-4} à 10^{-5}
5	de 10^{-5} à 10^{-7}

Notes

1. En raison des effors importants qui doivent être fournis par l'analyste, l'opérateur et le chargé de la réglementation pour effectuer une classification probabiliste des événements, celle-ci devrait être réalisée de façon ponctuelle à l'aide des lignes directrices de la présente annexe. Une combinaison de la classification décrite dans le guide et l'orientation décrite dans cette annexe peuvent également être utilisées comme solution de rechange.

2. Les diverses défaillances qui causent les mêmes pertes de capacité fonctionnelle peuvent donner lieu à des réponses de centrale considérablement différentes.

3. Si l'événement de cause commune est un scénario météorologique, considérer la probabilité du scénario météorologique dans la mesure où elle détermine le scénario météorologique pour les 30 jours qui suivent l'événement de cause commune.

4. La probabilité de certains états d'arrêt, par exemple, ne peut être considérée parce que leur durée peut être indéterminée.

   La probabilité d'une crête de puissance pendant les manoeuvres de puissance peut être considérée, mais la probabilité des manoeuvres de puissance ne peut l'être.

5. S'il n'existe pas de données relatives à la dépendance, la probabilité de la dépendance est de « un ».

Annexe B : Événements limitatifs

Les tableaux contenus dans la présente annexe décrivent la manière dont les événements limitatifs sont identifiés pour les paramètres et les procédures d'exploitation.

Le tableau B.1 donne l'information à être fournie pour chaque exigence fonctionnelle relative à chaque événement, afin de démontrer quels événements sont limitatifs pour un paramètre donné dans la conception ou l'exploitation du réacteur.

En utilisant le tableau B.1 à titre de référence, identifier les exigences fonctionnelles des systèmes d'atténuation qui se rapportent à chaque événement, et déterminer :

- si la source de l'exigence fonctionnelle est une exigence réglementaire, une décision de conception, une pratique établie, une hypothèse dans l'analyse de sûreté, provient de la limite de validité d'une analyse.
- si la méthode utilisée pour indiquer que l'exigence fonctionnelle est satisfaite se fait par une analyse, par une évaluation relative à des événements qui sont plus limitatifs, par un résultat de recherche expérimentale ou par une expérience opérationnelle.
- la méthode utilisée pour tenir compte des erreurs.
- les paramètres limités de conception ou des procédures d'exploitation pour l'événement.
- les limites des paramètres d'exploitation.
- la marge, par rapport à l'exigence fonctionnelle, qui tient compte de l'effet des variances et des tolérances.

Le tableau B.2 donne, par défaut[1], une liste partielle[2] des événements dans les cinq classes d'événements. Le tableau B.3 indique les événements de cause commune. Les tableaux indiquent également l'exigence fonctionnelle ou l'effet limitatif qui est utilisé pour établir chaque paramètre limité. (Ils n'indiquent pas de paramètres de modélisation clés, ni d'orientation conservatrice pour leur tolérance.)

Tableau B.1 : Agencement des systèmes de soutien pour chaque événement limitatif

Exigences fonctionnelles	Source (s'il y a lieu)	Méthode (s'il y a lieu)	Paramètres (s'il y a lieu)	Limites	Marge
Exigences fonctionnelles de chaque système d'atténuation	• exigence réglementaire • décision de conception • pratique établie • hypothèse relative à l'analyse de sûreté • intervalle du soutien de l'analyse	• analyse incluant l'analyse des erreurs • évaluation • résultat expérimental • expérience • opération-nelle	• de conception • opérationnel	valeur	valeur

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1

Défaillance du système/composant :	Paramètres limités de centrale	Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs
contrôle par double ordinateur	position des sorties d'ordinateur en position de défaillance-sécuritaire	état d'arrêt sécuritaire
	procédures d'exploitation	
contrôle de la puissance du réacteur	poussée maximale de puissance	défaillance du combustible
	point de déclanchement supérieur de la chambre d'ionisation du système d'arrêt d'urgence	ébullition du caloporteur
contrôle de la pression des générateurs de vapeur	procédure d'arrêt	source froide
contrôle de l'inventaire du générateur de vapeur	procédure ayant pour but d'éviter l'entraînement d'eau	entraînement d'eau
contrôle de l'inventaire du dégazeur	intervention de l'opérateur	source froide
contrôle de la pression du caloporteur primaire	seuil de déclenchement haute pression du caloporteur primaire	pressiondu caloporteur primaire
	procédure d'arrêt	source froide
	procédures d'isolation du confinement	dose
	délai maximal de déclenchement de la pompe primaire du caloporteur	fatigue de la tuyauterie du circuit primaire
	point de consigne de la pression minimale	
	capacité minimale de la soupape de décharge du condenseur de soutirage du caloporteur primaire	pression du condenseur de soutirage
	capacité minimale de la soupape de décharge du pressuriseur	pression du pressuriseur
contrôle de l'inventaire du caloporteur primaire	procédures d'isolation du confinement	dose
	capacité minimale de la soupape de décharge du caloporteur primaire	pression du caloporteur primaire
contrôle de la température du système d'évacuation de la chaleur résiduelle	temps requis pour la procédure de source froide de rechange	température de la gaine

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1 (suite)

Défaillance du système /composant :	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
contrôle de la température du modérateur	seuil de déclenchement sur niveau élevé du modérateur	dose
	procédure d'isolation du confinement	
	résistance mécanique de la calandre	intégrité du système d'arrêt d'urgence
	procédures d'exploitation	congélation du D_2O
air comprimé (d'instruments ou de service)	air comprimé d'urgence	source froide
	procédures de contrôle de l'eau d'alimentation du générateur de vapeur, débit du modérateur et alimentation du caloporteur primaire	congélation du D_2O, source froide
	capacité minimale de la soupape de décharge du caloporteur primaire	pression du caloporteur primaire
	capacité minimale de la soupage de décharge du condenseur de soutirage du caloporteur primaire	pression du condenseur de soutirage
débit de l'eau de service	eau de service d'urgence	source froide
	teneur maximale en tritium du modérateur et du caloporteur primaire	dose
	capacité minimale de la soupape de décharge du caloporteur primaire	pression du caloporteur primaire
	capacité minimale de la soupape de décharge du condenseur de soutirage du caloporteur primaire	pression du condenseur de soutirage
	capacité de la soupape de décharge du bouclier	pression du bouclier
	capacité minimale de refroidissement du système de confinement	température du confinement
joints d'étanchéité ou vannes, causant une perte d'eau de service	seuil de déclenchement du réacteur sur haute température du modérateur	pression du modérateur

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1 (suite)

Défaillance du système /composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs**
alimentation électrique normale	temps de démarrage et capacité des génératrices en attente	niveau du générateur de vapeur
	équipement minimale fourni par l'alimentation électrique de catégorie III	niveau du générateur de vapeur
	capacité minimal de la soupape de décharge du caloporteur primaire du caloporteur primaire	pression du caloporteur primaire
	importance des défauts des tubes de force	intégrité des tubes de force
	capacité minimal de la soupape de décharge du condenseur de soutirage du caloporteur primaire	pression du condenseur de soutirage
chauffage, ventilation, ou climatisation	chauffage, ventilation, ou climatisation d'urgence	dose, habitabilité et qualification
soupape de sûreté de vapeur dans un système de confinement sous vide	pression négative de confinement	intégrité du confinement
	procédure d'arrêt	pression de déclenchement du SRUC
rejet/contrôle de charge du turbogénérateur	(limité par la défaillance du vide au condenseur) teneur maximale en tritium et en iode du caloporteur primaire	dose
vide au condenseur	temps requis pour la procédure d'arrêt d'urgence	source froide
	capacité et pression des soupapes de décharge de sûreté	pression au secondaire
écoulement normal du générateur de vapeur	seuil de déclenchement sur basse pression des conduites d'alimentation des générateurs de vapeur et bas niveau du générateur de vapeur	niveau du générateur de vapeur et pression du caloporteur primaire du réacteur
	procédure d'arrêt	

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1 (suite)

Défaillance du système /composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs**
écoulement normal du générateur de vapeur	circuit de refroidissement d'urgence du générateur de vapeur, capacité d'air et pression minimale capacité minimale du circuit d'eau d'alimentation d'appoint et capacité maximale, des raccords des générateurs de vapeur	niveau du générateur de vapeur
	déclenchement automatique de la pompe additionnelle du circuit d'eau de service d'urgence et pression minimale	niveau du générateur de vapeur, température du systèeme de confinement, pression du circuit du modérateur, pression du circuit de refroidissement du bouclier d'extrémité et climatisation
vanne d'isolation d'une conduite de vapeur	procédure d'arrêt d'urgence	source froide
	capacité de décharge du générateur de vapeur	pression du générateur de vapeur
tuyauterie causant une très petite perte de fluide caloporteur primaire	procédures de récupération du caloporteur primaire et isolation du confinement	dose
	teneur maximale en tritium et en iode du caloporteur primaire	
joints d'étanchéité ou vannes, causant une perte de fluide caloporteur primaire du réacteur	(même qu'une perte de fluide caloporteur primaire du réacteur) isolation du condenseur de soutirage	
joints d'étanchéité ou vannes, causant une perte de fluide au secondaire	étendue de la détérioration des tubes du générateur de vapeur entraînant des fuites des tubes du générateur de vapeur	
tube du générateur de vapeur	(pareil qu'une petite perte de fluide caloporteur primaire du réacteur)	dose
	activité maximale du caloporteur primaire du réacteur	
	procédures visant à isoler les sorties d'évacuation du générateur de vapeur et les évents du dégazeur et procédures visant à dépressuriser et à drainer le caloporteur primaire du réacteur	

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1 (suite)

Défaillance du système/ composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs**
tube de force de tout canal de combustible	(pareil que la perte de fluide caloporteur primaire du réacteur)	dose
	procédure d'isolation du confinement	
soupapes de sûreté de vapeur du circuit primaire	procédures d'arrêt et dépressurisation	surpression
vanne de la conduite de raccord des boucles du circuit caloporteur primaire ou d'une vanne de raccord du pressuriseur	procédure d'arrêt	niveau du caloporteur primaire
système d'évacuation de la chaleur résiduelle (à l'exclusion des défaillances de conduites autres que les défaillances d'une conduite d'échangeur de chaleur)	procédures d'établissement d'une source froide de relève	source froide
circuit du modérateur (à l'exclusion des défaillances de la tuyauterie autres que les défaillances d'une conduite d'échangeur de chaleur)	température minimale de fluide à l'admission du bouclier	contraintes exercées sur les tubes de calandre
	seuil de déclenchement sur niveau modérateur élevé	pression du modérateur
joints d'étanchéité ou vannes, causant une perte d'eau lourde (modérateur)	procédures d'arrêt et d'isolation	dose
système de refroidissement des boucliers du réacteur (à l'exclusion des défaillances des conduites autres que les défaillances d'une conduite d'échangeur de chaleur)	procédure d'arrêt	intégrité du circuit du caloporteur primaire et du système d'arrêt d'urgence
gestion de l'eau lourde	concentration maximale de tritium	dose
	capacité d'aération dans la gestion du D_2O	qualification environnementale
	procédure d'arrêt	source froide
machine de chargement du combustible à la réinstallation du bouchon de fermeture du canal de combustible	puissance des grappes	dose

...suite

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 1 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs**
circuit de refroidissement d'une machine de chargement du combustible	temps de fermeture des vannes d'isolation du confinement	dose
	isolation du système du confinement et procédure de décharge filtrée	
	puissance des grappes	
transfert inadéquat du combustible entre le coeur du réacteur et la piscine de stockage entraînant l'endommagement du combustible	procédure	

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 2

Défaillance du système / composant :	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
tuyauterie, causant une perte d'eau de service	protection contre les inondations	source froide et surveillance
tuyauterie, causant une perte de fluide caloporteur secondaire du réacteur	seuil de déclenchement du réacteur sur bas niveau du générateur de vapeur	niveau du générateur de vapeur et pression du caloporteur primaire
	Pic de pression du confinement	dommages causés aux circuits du réacteur
	délai maximal pour le déclenchement de la pompe et point de consigne minimum de la pression	fatigue d'une tuyauterie du circuit primaire
	capacité du système d'évacuation de la chaleur résiduelle	température du caloporteur primaire
	capacité de la soupape de décharge au secondaire	pression du générateur de vapeur et température du caloporteur primaire
	pression minimale du circuit de refroidissement d'urgence des générateurs de vapeur	
	température maximale du système d'évacuation de la chaleur résiduelle	
	circuit de refroidissement d'urgence des générateurs de vapeur et raccords min. du circuit d'eau d'alimentation d'appoint du générateur de vapeur	niveau du générateur de vapeur
	seuil bas niveau du générateur de vapeur et capacité minimale du circuit d'eau d'alimentation d'appoint du générateur de vapeur	
	capacité, temps d'ouverture, seuil de température et configuration des détecteurs du système d'aération de la vapeur du bâtiment turbine	qualification environnementale

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 2 (suite)

Défaillance du système / composant :	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
tuyauterie, causant une petite perte de fluide caloporteur primaire du réacteur	Seuil de déclenchement de la pompe haute pression/de l'accumulateur du SRUC et seuil minimum d'injection sur basse pression du caloporteur primaire	seuil minimum de déclenchement de la soupape de sûreté de vapeur du système de confinement sur haute pression dans le confinement
	Seuil de déclenchement de la pompe haute pression/de l'accumulateur du SRUC et seuil minimum d'injection sur faible débit	
	Seuil de déclenchement de la pompe haute pression/de l'accumulateur du SRUC et seuil minimum sur niveau du pressuriseur	
	Seuil de déclenchement maximum du SRUC sur durée du bas débit soutenu	
	Seuil de déclenchement maximum du SRUC sur pression élevée du confinement	
	Seuil de déclenchement minimum du circuit de refroidissement du générateur de vapeur du SRUC sur basse pression du caloporteur primaire	pression maximale du générateur de vapeur
	Seuil de déclenchement minimum de la pompe basse pression du SRUC sur basse pression du caloporteur primaire	Temps maximal de démarrage de la pompe basse pression du SRUC
	démarrage de la pompe basse pression du SRUC avant l'atteinte du seuil de démarrage de la pompe haute pression et seuil, d'injection	
	Niveau minimal du réservoir de stockage du SRUC	hauteur d'aspiration positive des pompes basse pression du SRUC dans le puisard
	Niveau maximal du réservoir de stockage du SRUC	inondation
	Temps maximum pour agir de l'échangeur de chaleur du SRUC	température de l'eau du puisard

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 2 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs**
tuyauterie d'aspiration, causant une stagnation de l'écoulement dans un seul canal	source froide minimum du SRUC	puissance du réacteur
	puissance maximale de canal	dose, température du combustible et température du tube de force
	étendue de la détérioration des tubes des générateurs de vapeur résultant en une rupture	
	seuil maximum de déclenchement de la soupape de sûreté de vapeur du système de confinement sur haute pression dans le confinement	
	pression minimale du système de confinement	
	seuil maximum des vannes d'isolation du confinement sur haute pression B/R	
	seuil maximum des vannes d'isolation du confinement sur haute activité	
	capacité maximale de refroidissement du système de confinement	
	fuite maximale du système de confinement	
raccord d'extrémité de tout canal de combustible	procédure d'isolation du confinement	dose
vannes d'isolation du système d'évacuation de la chaleur résiduelle	(peut limiter la défaillance de l'alimentation électrique normale)	température du combustible
plaque séparatrice du circuit primaire	(peut limiter la défaillance de l'alimentation électrique normale)	
vannes d'isolation du SRUC	(peut limiter la défaillance de l'alimentation électrique normale)	
tuyauterie ou tube de calandre, causant une perte de modérateur	concentration maximale en tritium du modérateur	dose
	température minimale à l'admission des boucliers	contraintes exercées sur les tubes de calandre
tuyauterie, causant une perte du fluide des boucliers du réacteur	procédure d'arrêt	intégrité du caloporteur primaire et systèmes d'arrêt d'urgence

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 3

Défaillance du système/composant :	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur	nombre minimum de grappes de combustible dans un canal	Intégrité du canal de combustible et de la machine à rechargement, et température du combustible
	capacité minimum de la soupape de sûreté de vapeur du système de confinement	dose
	seuil de l'échangeur de chaleur du SRUC sur niveau élevé du puisard	dose/reflux vers le réservoir de stockage
grand nombre de tubes de générateur de vapeur	procédure d'isolation et contrôle de la pression au secondaire accompagné d'une décharge de vapeur au condenseur	dose
débit de l'eau de service + système d'eau de service d'urgence	température maximale à l'admission des boucliers	température et pression de l'eau de refroidissement des boucliers
	capacité de la soupape de décharge du caloporteur secondaire	pression du blouclier et intégrité des canaux de combustible
composants, causant un reflux vers le SRUC	pression nominale du SRUC	dose

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 4

Défaillance du système / composant :	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + alimentation électrique de catégorie IV	puissance du réacteur	dose
	débit minimum du modérateur lors d'une perte d'alimentation électrique de catégorie IV	contraintes exercées sur le tube de calandre
tuyauterie, causant une perte de fluide caloporteur secondaire + circuit d'eau de service d'urgence	capacité du circuit d'eau de service	qualification environnementale des circuits et source froide du système d'évacuation de la chaleur résiduelle

+ signifie « accompagné de »

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5

Défaillance du système / composant :	Paramètres limités de centrale	Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs
contrôle de la puissance du réacteur + système d'arrêt + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement sur taux-log du système d'arrêt d'urgence	température au centre du combustible
	puissance des grappes	
	capacité de la soupape de décharge du caloporteur secondaire	pression du générateur de vapeur
	température maximale à l'entrée des canaux	température de la gaine du combustible
	détecteurs de surpuissance des systèmes d'arrêt d'urgence	
alimentation électrique normal + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil bas du débit du caloporteur primaire du système d'arrêt d'urgence	température de la gaine du combustible
	puissance maximale de canal	
	pression minimale du caloporteur primaire du réacteur	température de la gaine du combustible et enveloppe de déclenchement basée sur deux paramètres de déclenchement
	température minimale à l'entrée des canaux	
	puissance minimale des canaux instrumentés	
	seuil haute pression du caloporteur primaire	
	longueur minimale de portage des canaux	contrainte longitudinale du tube de force, contraction et arrachement des joints roulés
tube de force de n'importe quel assemblage de canal de combustible + système d'arrêt + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du SRUC sur niveau élevé du réservoir de dilatation du modérateur	température de la gaine de combustible

+ signifie « accompagné de »

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
tuyauterie, causant une perte de fluide caloporteur secondaire du réacteur + système d'arrêt + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	raccords de débit minimale du système d'évacuation de la chaleur résiduelle	température du combustible et du tube de force
tuyauterie, causant une petite perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur basse pression du caloporteur primaire	température de la gaine de combustible
	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur surpuissance neutronique causée par une réduction de débit	
	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du pressuriseur	
	pression maximale du caloporteur du réacteur	
	seuil de déclenchement de la pompe haute pression /de l'accumulateur du SRUC et seuil minimum d'injection sur basse pression du caloporteur primaire	
	seuil de déclenchement de la pompe haute pression/de l'accumulateur du SRUC et seuil d'injection sur bas débit	
	seuil de déclenchement de la pompe haute pression/de l'accumulateur du SRUC et seuil d'injection sur bas niveau de pressuriseur	
	seuil maximal du SRUC sur durée de bas débit soutenu	
	seuil maximal du SRUC sur pression élevée du confinement	
	température minimale du réservoir de stockage du SRUC	intégrité des conduites

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
contrôle de la pression du générateur de vapeur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	procédure d'arrêt	source froide
contrôle de l'inventaire du générateur de vapeur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du générateur de vapeur	température de la gaine du combustible
contrôle de l'inventaire du dégazeur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du générateur de vapeur	
	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence relatif à la pression d'eau d'alimentation	
contrôle de la pression du caloporteur primaire + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur basse pression du caloporteur primaire	température de la gaine du combustible
	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du pressuriseur	
contrôle de l'inventaire du modérateur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur flux neutronique élevé	

+ signifie « accompagné de »

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
soupape du sûreté de vapeur du circuit primaire + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur basse pression du caloporteur primaire	température de la gaine de combustible
	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du pressuriseur	
	SRUC (pareil qu'une petite PERCA)	
tuyauterie ou tube de calandre, causant une perte de modérateur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	seuil de déclenchement du système d'arrêt d'urgence sur bas niveau du modérateur	température de la gaine de combustible
tuyauterie, causant une petite perte de fluide caloporteur primaire + SRUC	délai minimal de déclenchement de la pompe du caloporteur primaire	température du combustible
	point de consigne maximal de la pression de déclenchement de la pompe du caloporteur	
soupape du sûreté de vapeur dans un système de confinement sous vide + tuyauterie, causant une petite perte de fluide caloporteur primaire dans les dix heures ou plus qui suivent	procédures manuelles du SRUC	source froide

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + système d'arrêt d'urgence + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	puissance maximale des grappes	température au centre du combustible
	quantité maximale de poison dans le modérateur	
	inclinaison maximale du flux	
	vitesse/pression minimum du système d'arrêt d'urgence (composants opérationnels redondants, poison)	
	espace minimal entre le combustible et le bouchon-écran	allongement axial du combustible et contraintes exercées sur ce dernier, température du combustible, température et allongement des tubes de force
	longueur minimale de portage des canaux	allongement axial des tubes de force, contraction et arrachement des joints roulés,
	étendue des défauts des tubes de force	intégrité des tubes de force
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + défaillance du système de confinement	capacité minimum de la soupape de sûreté de vapeur du système de confinement	pression de confinement
	niveau minimal du réservoir d'arrosage	
	température maximale du réservoir d'arrosage	
	pression maximale du système de confinement	
	température maximale du système de confinement	
	température maximale du réservoir de stockage du SRUC	

suite...

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	Paramètres limités de centrale	Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + SRUC + alimentation électrique de catégorie IV + gaz de couverture du modérateur[3]	température maximale du modérateur à la sortie	contraintes exercées sur le tube de calandre
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + SRUC + défaillance simple du système de confinement	capacité minimum de la soupape de sûreté de vapeur auxiliaire du système de confinement	dose
	efficacité minimum du filtre du système de confinement	
	vitesse de désorption maximale du filtre du système de confinement	
	emplacement des dispositifs d'allumage	concentration de l'hydrogène
	configuration du refroidissement du système de confinement	
blocage d'un canal + système d'arrêt d'urgence + SRUC + défaillance simple de l'autre système d'arrêt d'urgence	capacité du modérateur comme source froide	intégrité
	solidité du modérateur	
	débit minimum et capacité du système d'ajout de poison au modérateur	réactivité
	concentration maximale de bore du modérateur	
	profondeur en réactivité du système d'arrêt d'urgence	
	configuration et intégrité du système d'arrêt d'urgence	
	pureté maximale du caloporteur primaire de réacteur	
	circuit d'eau de service d'urgence par rapport à la capacité du circuit du modérateur	

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + confinement	niveau minimum du réservoir du SRUC pendant la phase de récupération	dose/reflux
profondeur en réactivité du système d'arrêt d'urgence tuyauterie, causant une perte de fluide caloporteur secondaire + circuit d'eau de service d'urgence + système d'évacuation de la chaleur résiduelle	source froide	dose
configuration et intégrité du système d'arrêt d'urgence tuyauterie, causant une grosse perte de fluide caloporteur primaire du réacteur + alimentation électrique de catégorie IV + système d'arrêt d'urgence + défaillance unique du SRUC	capacité du SRUC	température de la gaine de combustible
	temps d'ouverture des vannes d'injection du SRUC	
	temps de démarrage de la pompe de haute pression du SRUC	
	nombre de vannes du SRUC ouvertes	
	point de consigne du SRUC et temps d'ouverture des vannes de contournement de la pompe haute pression	
	seuil sur pression d'injection basse du SRUC pour que les vannes de recirculation de la pompe basse pression se ferment	

...suite

Tableau B.2 : Liste partielle des événements limitatifs de classe 5 (suite)

Défaillance du système / composant :	**Paramètres limités de centrale**	**Exigence fonctionnelles ou effets limitatifs**
*Rupture d'une turbine imputable à un rejet de charge du turbogénérateur + défaillance de la protection contre l'emballement des turbines	démarrage automatique de la pompe additionnelle d'eau de service d'urgence et pression minimale	niveau du générateur de vapeur, température du circuit de confinement, température du circuit du modérateur, pression du circuit de refroidissement du bouclier du réacteur et climatisation
	agencement et protection des systèmes de sûreté, du circuit cu caloporteur primaire, du circuit du modérateur, du système de chargement du combustible et du stockage du combustible	arrêt d'urgence, source froide et dose
*Chute d'une grosse charge sur le plancher des mécanismes de réactivité	procédures d'exploitation arrêt d'urgence	arrêt d'urgence
*Défaillance du système d'appui d'un générateur de vapeur	conception du soutien et inspection	intégrité et confinement
*Défaillance mécanique massive d'un composant d'une pompe de caloporteur primaire du réacteur	inspection	arrêt d'urgence, source froide et confinement
*Défaillance massive (sur toute la longueur) d'un collecteur de réacteur	vitesse de l'arrêt d'urgence	température du combustible
	branchements du SRUC	
*Défaillance massive du tunnel d'amenée ou de la conduite d'évacuation de l'eau de service	eau de service d'urgence	inondations et source froide

*Événement dont la probabilité est très basse — Les conséquences de ces événements sont déterminées, à moins qu'une justification, sous réserve d'une acceptation par la CCEA, soit donnée pour démontrer que leur probabilité est suffisamment faible.

Tableau B.3 : Liste partielle des événements limitatifs de cause commune

Événement	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
incendie dans une zone d'incendie et de liquides inflammables	aménagement des systèmes	arrêt d'urgence, source froide et surveillance
	exigences nominales en matière de sûreté	
séisme	exigences nominales de sûreté relatives au confinement, à la structure interne du confinement du bâtiment du réacteur, au système d'arrêt d'urgence (SAU2), aux barres d'arrêt, au circuit du caloporteur primaire, aux générateurs de vapeur, au SRUC, à l'alimentation d'urgence, à l'eau de service d'urgence, au refroidissement d'urgence du générateur de vapeur, à la salle de commande secondaire	intégrité, arrêt d'urgence, source froide, confinement et surveillance
	gestion de la concentration maximale en tritium du modérateur et de l'eau lourde	dose
	capacité de la batterie de l'alimentation électrique d'urgence	niveau du générateur de vapeur
	capacité des génératrices d'électricité de secours et temps de démarrage maximal	
	démarrage automatique de la pompe additionnelle du circuit d'eau de service d'urgence et pression minimale	niveau du générateur de vapeur, système de confinement, pression du circuit du modérateur, pression du système de refroidissement des boucliers d'extrémité et climatisation
tornade	aménagement des systèmes	source froide
	exigences minimales en matière de sûreté	intégrité, protection contre la surpression du bâtiment et confinement
	démarrage automatique de la pompe additionnelle du circuit d'eau de service d'urgence et pression minimale	niveau du générateur de vapeur, température du système de confinement, pression du circuit du modérateur, pression du circuit de refroidissement du bouclier d'extrémité et climatisation

suite...

Tableau B.3 : Liste partielle des événements de cause commune (suite)

Événement	Paramètres limités de centrale	Exigences fonctionnelles ou effets limitatifs
explosion ou nuages de gaz inflammables	procédures d'urgence	source froide
	résistance mécanique structurale	
rejet de gaz toxiques	équipement et procédures respiratoires	habitabilité
rejet de produits chimiques corrosifs	un groupe de systèmes de sûreté qualifiés	source froide
inondation interne	structures protectrices	source froide et confinement
inondation externe	aménagement des systèmes	source froide
	exigences nominales de conception en matière de sûreté	
conditions météorologiques extrêmes (vent, pluie, grêle, neige, glace, foudre, température, sécheresse)	contingences	
écrasement d'avion	site	intégrité du confinement et systèmes de sûreté
brouillage électromagnétique causée par du matériel de télécommunication	blindage et procédures limitant l'utilisation de l'équipement de télécommunications	fonctionnement correct des systèmes de sûreté et des systèmes de commande

Notes

1. Cette liste d'événements limitatifs et de paramètres limités peut également être utile pour les décisions relatives au site et aux permis de construction.

2. Le rapport intitulé : « Application of Event Tables » de R. A. Brown and Associates Ltd. (numéro de rapport 9703, du 30 mai 1997, disponible auprès de la CCEA sous la référence RSP-51) précise des combinaisons d'événements additionnelles qui sont des événements limitatifs pour différentes procédures d'urgence liées à l'arrêt d'urgence et aux sources froides.

3. Le circuit du gaz de couverture n'est pas crédité dans l'analyse des grands bris à moins d'être protégé et fiable. Si le circuit du gaz de couverture était considéré, la pression du gaz de couverture pourrait être accrue plutôt que d'abaisser la température de sortie du modérateur. L'épaisseur des tubes de calandre inférieurs devrait aussi être augmentée de manière à ce que ceux-ci ne s'effondrent pas lorsque la pression accrue du gaz de couverture s'ajoute à la pression hydrostatique de l'eau du modérateur.